

27388/4106



TUGAS AKHIR
LL 1327

**PENGARUH PERUBAHAN SUDUT PORT TERHADAP
INITIAL DILUTION BUOYANT JET NEGATIF
PADA ARUS CROSS-FLOW**



RGK
62D.39
San
p.1
2006

Oleh :

EKO SANTOSO

NRP : 4301.100.046

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	2-8-06
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	225648

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

2006

“Mereka menjawab: "Maha Suci Engkau, tidak ada yang kami ketahui selain dari apa yang telah Engkau ajarkan kepada kami; sesungguhnya Engkaulah Yang Maha Mengetahui lagi Maha Bijaksana”

(Q. S. Al-Baqarah: 32)



LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PERUBAHAN SUDUT *PORT* TERHADAP *INITIAL DILUTION* *BUOYANT JET* NEGATIF PADA ARUS *CROSS-FLOW*



Eko Santoso

NRP : 4301 100 046

Surabaya, 24 Juli 2006

Mengetahui / Menyetujui :

Pembimbing I

Dr. Ir. Mukhtasor, MEng
NIP. 132 105 583

Pembimbing II

Dr. Ir. Haryo D. Armono, MEng
NIP. 132 133 973

Ketua Jurusan Teknik Kelautan



Ir. Imam Rochani, MSc
NIP. 131 417 209



ABSTRAK

ABSTRAK

Eko Santoso

Pembimbing : Dr. Ir. Mukhtasor, MEng dan Dr. Ir. Haryo D.A, MEng

Initial dilution merupakan salah satu aspek yang paling penting dalam suatu pendesainan outfall, yang mana merupakan ukuran perbandingan konsentrasi dari suatu polutan limbah cair pada saat dibuang dengan konsentrasinya saat berada pada level kesetimbangan, baik pada permukaan atau di dasar laut. Arus yang terjadi dilaut sangat berpengaruh terhadap nilai *initial dilution* dari limbah yang dibuang ke laut. Penelitian ini dilakukan untuk membuat suatu pemodelan polutan limbah panas (*thermal discharge*) pada aliran arus *cross-flow* (berlawanan arah) dari *ocean outfall* jenis *single port* menggunakan variasi sudut *port* 30°, 45° dan 60° dengan memperhatikan perubahan temperatur *exceeds* serta penghitungan besarnya nilai *initial dilution*. Dibandingkan dengan Pribadi (2005) yang menggunakan aliran arus *co-flow* (searah) dengan *effluent*, didapatkan model persamaan empiris *initial dilution* $(SQ)/(B^{1/3} z^{5/3}) \sim (z/l_b)$ untuk percobaan pada sudut *port* 30°, 45° dan 60°, dengan konstanta dilusi berturut-turut adalah 0.3653, 0.3938 dan 0.5758 pada zona BDNF untuk $z/l_b < 1$. Dari percobaan diketahui bahwa pada sudut pada *port* 60° memberikan nilai dilusi terbesar yang berarti jika polutan limbah panas dibuang ke laut dengan sudut pada *port* 60° pada arah arus *cross-flow*, maka polutan limbah panas akan cepat mengalami pengenceran dengan level kesetimbangan lingkungan. Menggunakan hubungan $z \sim (M \sin \theta)^{3/4} / B^{1/2}$ untuk plume vertikal, dari percobaan yang dilakukan diperoleh konstanta batas ketinggian maksimum plume (*centerline*) yang berbalik arah z , untuk sudut 30°, 45° dan 60° berturut-turut adalah 0.1953, 0.0299 dan 0.0384.

Kata-kata kunci : *Ocean outfall, cross-flow, initial dilution, sudut port, plume.*

ABSTRACT

Eko Santoso

Supervisor: Dr. Ir. Mukhtasor, MEng and Dr. Ir. Haryo D.A, MEng

Initial dilution, as one of the most important aspect in ocean outfall design, is the concentration comparison measurement of wastewater pollutant when it is disposed with balanced level of concentration, on ocean surface or ocean bed. The ocean wave very influence the initial dilution amount of wastewater disposed into the ocean.

This research was carried out to make a model of thermal discharge pollutant on cross flow ocean wave from single port ocean outfall using variation of port angle, 30°, 45°, and 60° by observing the excess temperature change and the calculation of initial dilution amount. Compared to Pribadi (2005) research which was using co-flow ocean wave (same direction) with effluent, it obtained the empiric equation model of initial dilution $(SQ)/(B^{1/3} z^{5/3}) \sim (z/l_b)$ for the research on port angle 30°, 45°, and 60°, with dilution constant 0.3653, 0.3938 and 0.5758 on BDNF zone for $z/l_b < 1$.

From the research, it was discovered that 60° port angle had given the largest dilution amount, which meant when wastewater pollutant with high temperature was discharged to the ocean with 60° port angle on cross-flow ocean wave, then the pollutant would be diluted rapidly with environmental balance level. Using the equation $z \sim (M \sin \theta)^{3/4} / B^{1/2}$ for vertical plume, the research obtained constant plume maximum height limit (*centreline*) which reversing the z , for 30°, 45°, and 60° angle was 0.1953, 0.0299 and 0.0384.

Keywords: *Ocean outfall, cross-flow, initial dilution, port angle, plume.*

"....dan Yang mempersatukan hati mereka (orang-orang yang beriman). Walaupun kamu membelanjakan semua (kekayaan) yang berada di bumi, niscaya kamu tidak dapat mempersatukan hati mereka, akan tetapi Allah telah mempersatukan hati mereka. Sesungguhnya Dia Maha Gagah lagi Maha Bijaksana" (Q. S. Al-Anfaal:63)



KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Hanya ucapan *alhamdulillah*, yang penulis mampu sembahkan kepada Allah SWT, karena hanya atas berkat rahmat, taufiq, ridho dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Perubahan Sudut Port terhadap *Initial Dilution Buoyant Jet Negative* pada Arus *Cross-Flow* ” dengan baik.

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan bagi seorang mahasiswa dalam menyelesaikan sks dan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Adalah sebuah hal yang mustahil dan tidak mungkin terjadi, jika dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis tidak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Maka sepantasnyalah pada kesempatan yang begitu baik ini, penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Almarhumah ibunda tercinta, Endang Soepatmi Ningsih, yang telah memberikan segalanya bagi ananda selama hidup beliau, semoga selalu tenang dipangkuan-Nya dan ayahanda beserta keluarga baru, yang masih mau direpotin oleh ananda.
2. Dr. Ir. Mukhtasor, M. Eng dan Dr. Ir. Haryo D. Armono, M. Eng selaku dosen pembimbing yang selalu dengan sabar menyediakan waktu memberikan bimbingan dan arahan sehingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
3. Ir. Arief Suroso, M. Eng selaku Kepala Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut, Jurusan Teknik Kelautan-ITS yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas untuk dapat melakukan percobaan di laboratorium.
4. Ir. Imam Rochani, M.Sc selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan yang selalu memberikan pengarahan agar menjadi mahasiswa dan alumnus Teknik Kelautan yang berkualitas.
5. Dr. Ir. Wahyudi, M.Eng selaku dosen wali yang selalu membimbing dan memberikan nasehat selama masa perkuliahan.
6. Seluruh Dosen Teknik Kelautan yang telah memberikan ilmu dan falsafah kehidupannya selama masa perkuliahan.

7. Staf Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut, Mas Arif yang telah membantu secara teknis selama masa percobaan di laboratorium “sori mas, telat...”.
8. Sahabat 2000, Estu (aku telah berjuang pren.....) yang banyak memberikan masukan dan arahan demi keberhasilan Tugas Akhir penulis.
9. Rekan seperjuangan, Puput dan Yoga, yang telah sama-sama berjuang dan bahu-membahu dalam melakukan penelitian di laboratorium, (alhamdulillah, akhirnya selesai juga bro.....)
10. Sahabat-sahabat Teknik Kelautan, khususnya angkatan 2001 (*Emon, Vian, Nining, Slamet, Jhon, Gundul, Nyambek, Pankur, Helen, Saraf, Miswadi, Mr. Brad Pitt, Sigit, Abe, Dina, Winarno, Samid, Kucur, Selkon, Kacong, Hanif, Yeyen, Dodot, Zaky, Kampes, Mendo, Lovely "Shanto", Chokin, Dhoni, Tomi, Agung, Gepenk, Neneng, Christofel, Mamed, Delly, Bendot, Friska, Shinta, Ary, Dede "Ndut", Mbeler, Lenny, Ita, Ambon, Oje, Ompong, Arko, Lendro, Rudy*), lima tahun sudah kita bersama, semangat kebersamaan akan terus terjaga.
11. Mas-mas dan mbak2 angkatan '98, '99 dan '00, yang telah menjadi teman bertukar pikiran dan pendapat.
12. Adik-adik angkatan '02, '03, '04 dan '05, yang telah membantu memberikan sumbangan moril.
13. Seluruh tim LPPM UP3D ITS (*Bu Tutik, Mas Sandi dan Mbak Putu, Kadir, Henu, Gandhi, Mbak Prente, Mbak Dwi, Irma, Wayan, Desi "Cepu"*), yang telah banyak membantu pengerjaan Tugas Akhir ini, baik materiil dan moril.
14. Dewi Venusq yang "*paling memed.....*", terima kasih atas lecutan semangat hidup yang telah diberikan dan tiupan spiritualnya sehingga *ghiroh* ini selalu ada, jangan pernah berhenti mengejar segalanya demi masa depan.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan maka dari itu kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat diperlukan oleh penulis guna perbaikan Tugas Akhir ini.

Surabaya, 24 Juli 2006

Penulis



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR NOTASI	xii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Dasar Teori	6
2.2.1 Turbulensi Disekeliling Semburan	9
2.2.2 <i>Single Port Submerged Discharge</i>	11
2.2.3 Aliran pada Zona <i>Near Field</i>	12
2.2.4 <i>Single Plume, Flowing Current, Unstratified</i>	12
2.2.5 <i>Single Plume, Flowing Current, Stratified</i>	14
2.2.6 Aliran Laminer dan <i>Turbulent</i>	15
2.2.7 Pemodelan Fisik <i>Initial Dilution</i>	15
2.2.8 Sudut Inklinasi <i>Jet</i>	17
2.2.9 <i>Jet dan Plume</i>	18

2.2.10 Analisa Dimensi	18
2.2.11 Regresi Linier	20
2.2.12 Diagram Pencar	22
2.2.13 Korelasi	24
2.2.14 Transformasi Parameter Regresi	25

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Prosedur Umum	26
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	30
3.3 Metode Percobaan	30
3.3.1 Alat-alat dan bahan	30
3.3.2 Prosedur Percobaan <i>Initial Dilution</i>	34
3.4 Kalibrasi Termokopel	35
3.5 Metode Analisa Data Percobaan	37

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Kalibrasi Percobaan <i>Initial Dilution</i> Limbah Panas <i>Cross-Flow</i>	39
4.2 Pemodelan <i>Initial Dilution</i> Arah Arus <i>Cross-Flow</i> Di Laboratorium	41
4.3 Hasil Pemodelan <i>Initial Dilution</i> Menggunakan Analisa Dimensi	46
4.4 Evaluasi Pengaruh Sudut <i>Port</i> Terhadap Tinggi Maksimum <i>Plume</i> Berbalik Arah	50
4.5 Evaluasi Pengaruh Sudut <i>Port</i> Terhadap Volume <i>Plume</i>	54
4.6 Studi Kasus Aplikasi Model	57

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran	62

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN





DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

2.1	Transformasi Linier	25
4.1	Data hasil kalibrasi percobaan di laboratorium	40
4.2	Data parameter kondisi awal dan batas yang harus dipenuhi	43
4.3	Data parameter kestabilan <i>discharge</i> hasil percobaan	44
4.4	Nilai konstanta <i>initial dilution</i> pada percobaan menggunakan variasi sudut <i>port</i> yang berbeda pada zona BDNF	49
4.5	Perbandingan nilai konstanta <i>initial dilution</i> pada arus <i>cross-flow</i> dan <i>co-flow</i>	50
4.6	Nilai konstanta ketinggian maksimum titik balik arah plume (<i>centerline</i>) dari <i>port</i> (z_1) pada sudut <i>port</i> 30°, 45° dan 60°	53
4.7	Nilai konstanta volume fluks pada sudut <i>port</i> 30°, 45° dan 60° pada zona BDNF	57
4.8	Aplikasi hubungan <i>Initial dilution</i> dari variasi sudut <i>port</i> pada kasus Terra Nova FPSO <i>platform</i>	59



DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

2.1	Tipikal representasi dari <i>buoyant-jet discharge</i> dalam arus (Mukhtasordkk, 2002)	7
2.2	Jet dan plume turbulen pada lingkungan air tenang (Chu, 1996)	10
2.3	(a)Discharge pada air dalam dengan konfigurasi <i>discharge</i> stabil dkk, 2002)	12
	(b)Discharge pada air tenang (dangkal) dengan zona resirkulasi tidak stabil (Jirka, 1986)	12
2.4	Buoyant jet tunggal pada kondisi arus silang dan <i>uniform</i> (Roberts, 1996)	13
2.5	Buoyant jet tunggal pada kondisi arus silang dan <i>nonuniform</i> (Roberts, 1996)	14
2.6	Matriks variabel yang digunakan beserta dengan bilangan tak berdimensinya	19
2.7	Fungsi linear $Y = A + BX$ (Supranto, 2001)	21
2.8	Berbagai tipe hubungan yang digambarkan dalam diagram pencar (Hakim, 2004)	22
2.9	Diagram pencar dan garis regresi $A + BX$ (Supranto, 2001)	23
2.10	Tipe-tipe hubungan diantara variabel (Hakim, 2004)	24
3.1	Skema kerja percobaan <i>outfall dilution</i>	30
3.2	Flume tank	31
3.3	Komputer Kontrol	32
3.4	<i>Current generator control program</i>	33
3.5	Kurva Kalibrasi Termokopel (Sensor 1)	36
3.6	Kurva Kalibrasi Termokopel (Sensor 2)	36
4.1	Tipikal representasi dari <i>buoyant-jet negative</i> percobaan dalam arus	42
4.2	Percobaan dengan z/l_b dan kestabilan <i>discharge</i> kecil	45
4.3	Percobaan dengan z/l_m kecil	45
4.4	Grafik $SQ/B^{1/3} z^{5/3}$ vs z/l_b pada sudut 30°	47
4.5	Grafik $SQ/B^{1/3} z^{5/3}$ vs z/l_b pada sudut 45°	47
4.6	Grafik $SQ/B^{1/3} z^{5/3}$ vs z/l_b pada sudut 60°	48

4.7	Grafik hubungan besar sudut dengan nilai konstanta <i>initial dilution</i>	49
4.8	Grafik hubungan antara sudut <i>port</i> 30° terhadap ketinggian maksimum plume (<i>centerline</i> ke <i>port</i>) berbalik arah z_t	51
4.9	Grafik hubungan antara sudut <i>port</i> 45° terhadap ketinggian maksimum plume (<i>centerline</i>) dari <i>port</i> yang berbalik arah (z_t)	52
4.10	Grafik hubungan antara sudut <i>port</i> 60° terhadap ketinggian maksimum plume (<i>centerline</i>) dari <i>port</i> yang berbalik arah (z_t)	52
4.11	Grafik volume fluks (μ) vs $B^{1/3}z^{5/3}$ untuk sudut 30°	55
4.12	Grafik volume fluks (μ) vs $B^{1/3}z^{5/3}$ untuk sudut 45°	56
4.13	Grafik volume fluks (μ) vs $B^{1/3}z^{5/3}$ untuk sudut 60°	56
4.14	Skematis <i>negative buoyant jet</i> dan <i>plume</i> dari pembuangan <i>produced water</i> pada FPSO (tidak berskala) (Pribadi, 2005)	58
4.15	<i>Initial dilution</i> fungsi kedalaman <i>discharge</i> pada kecepatan arus rata-rata <i>ambient</i> pada kasus Terra Nova FPSO <i>platform</i>	60
4.15	Nilai <i>initial dilution</i> pada ketiga konfigurasi <i>port</i> yang berbeda dengan kedalaman <i>discharge</i> yang sama, 9 m	61



DAFTAR LAMPIRAN

DAFTAR LAMPIRAN

- 1 Data hasil percobaan pada sensor 1
- 2 Data temperatur excess hasil percobaan pada sensor 2
- 3 Pengukuran *initial dilution* pada sensor 1 titik $x_1 = 3$ cm
- 4 Pengukuran *initial dilution* pada sensor 2 titik $x_2 = 7$ cm
- 5 Tabel sifat-sifat fisik air (Roberson dan Crowe, 1997)
- 6 Data percobaan lengkap untuk pemodelan *initial dilution*
- 7 Data penghitungan ketinggian maksimum titik balik arah plume (*centerline*) dari *port* (z_t)
- 8 Data penghitungan volume fluks.
- 9 Hasil perhitungan uji homogenitas dari data kalibrasi menggunakan SPSS 14 *software*
- 10 Tabel distribusi t
- 11 Lembar asistensi tugas akhir
- 12 SK. Tugas Akhir



DAFTAR NOTASI

DAFTAR NOTASI

A_m	luasan model
A_p	luasan prototip
B	<i>buoyancy</i>
C	konsentrasi pada level kesetimbangan
C_a	konsentrasi <i>ambient</i>
C_d	konsentrasi <i>discharge</i>
D	diameter <i>port</i>
F_e	gaya kekenyalan
F_r	bilangan <i>Froude</i>
F_g	gaya gravitasi
F_i	gaya inersia
F_{pr}	gaya tekan
F_μ	gaya viskos
F_σ	gaya tegangan permukaan
G	percepatan gravitasi
H	kedalaman <i>ambient</i>
l_b	skala <i>buoyancy</i>
L_M	skala geometri <i>discharge</i>
L_p	panjang dari <i>prototype</i>
L_m	panjang dari model
L_Q	skala geometri pembuangan
M	momentum <i>discharge</i>
n_A	perbandingan skala luas
n_L	perbandingan skala panjang
n_u	perbandingan skala kecepatan
n_V	perbandingan skala volume
N	frekuensi <i>buoyancy</i>
Q	debit air
Re	bilangan <i>Reynold</i>
Ro	bilangan <i>Richardson</i>

S	<i>initial dilution</i>
T	temperatur <i>excess</i>
T_a	temperatur <i>ambient</i>
T_d	temperatur <i>discharge</i>
T_m	skala waktu model
T_p	skala waktu prototip
u_a	kecepatan arus <i>ambient</i>
u_d	kecepatan <i>discharge</i>
U_m	skala kecepatan model
U_p	skala kecepatan prototip
V_m	skala volume model
V_p	skala volume prototip
z	kedalaman <i>discharge</i>
z_t	titik balik maksimum dari <i>negative buoyant jet/plume</i> dari ujung <i>port</i>
ρ_a	densitas <i>ambient</i>
ρ_d	densitas <i>effluent</i>
$\Delta\rho_d$	perbedaan densitas antara <i>effluent</i> dengan <i>ambient</i>
μ	viskositas kinematik
ν	viskositas dinamik
θ	sudut <i>port</i> terhadap arah arus

"Tidak sepatutnya bagi mukminin itu pergi semuanya (ke medan perang). Mengapa tidak pergi dari tiap-tiap golongan di antara mereka beberapa orang untuk memperdalam pengetahuan mereka tentang agama dan untuk memberi peringatan kepada kaumnya apabila mereka telah kembali kepadanya, supaya mereka itu dapat menjaga dirinya" (Q. S. At-Taubah: 122)



BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Laut merupakan bagian terbesar dari bumi (lebih dari 2/3 bagian bumi) selain daratan yang banyak dimanfaatkan manusia untuk aktivitas kehidupan. Manusia memanfaatkan laut sebagai jalur transportasi kapal-kapal yang menghubungkan antara pulau yang satu dengan yang lain, menangkap ikan dan mengambil sumber alam yang ada di dalamnya, tempat wisata dan rekreasi, terlebih lagi manusia memanfaatkan laut sebagai sarana tempat untuk membuang limbah, baik berasal dari rumah tangga maupun industri. Sebagai tempat pembuangan limbah, tentunya laut tidak terlepas juga dari masalah polusi air yang selalu muncul mengiringi. Konsentrasi substansi yang dilepaskan oleh limbah seperti bacteria dan virus dari air selokan, energi yang berupa air panas yang dikeluarkan dari industri pembangkit tenaga dan sulfur dioksida dari industri pembakaran dapat menyebabkan kerugian dan kerusakan yang luas terhadap lingkungan laut secara keseluruhan.

Dalam perkembangannya, pembuangan limbah ke laut telah menggunakan berbagai macam cara untuk menghasilkan limbah yang ramah lingkungan dimana effluen dapat tercampur secara efektif dengan air laut dan mereduksi konsentrasinya. Untuk membuang limbah yang merupakan fluida yang terkontaminasi ini dari darat ke perairan pantai, dibutuhkan suatu fasilitas yang berupa perpipaan atau *tunnel* di dasar laut yang sering disebut sebagai *ocean outfall*. Ocean outfall umumnya digunakan untuk membuang limbah non konservatif yaitu limbah dimana zatnya mudah berubah dalam kurun waktu yang cukup lama. Ocean outfall ini diharapkan memberikan dilusi yang efektif sehingga dapat mengurangi dampak pencemaran.

Untuk perancangan ocean outfall diperlukan berbagai klasifikasi yang meliputi konstruksi, jumlah port, orientasi discharge, stratifikasi density di air laut dan arus air laut. Diantara klasifikasi tersebut, arus air laut merupakan faktor yang cukup

signifikan yang dapat mempengaruhi konstruksi, jumlah port, dan orientasi discharge dari ocean outfall. Khusus untuk orientasi discharge perlu diperhatikan terutama orientasi effluen apakah *co-flow* (searah arus) ataukah *cross-flow* (berlawanan dengan arus). Seperti yang telah disebutkan diatas, telah banyak teori dan studi eksperimen yang membahas dan menganalisa orientasi discharge dari sea outfall, akan tetapi belum mendapatkan hasil yang sistimatis dan maksimal.

Suatu penyelidikan secara eksperimental perlu dilakukan untuk mengetahui secara detail perilaku dari buoyant jet dan *initial dillution* (dilusi awal) pada kasus pembuangan limbah melalui suatu outfall dalam fluida yang bergerak dengan perbedaan densitas yang sangat kecil (uniform). Seperti yang sudah disebutkan pada bab ikhtisar tugas akhir, penelitian sebelumnya telah diadakan untuk mengatasi permasalahan diatas. Diantaranya oleh Gawad (1996), yang melakukan percobaan tentang kestabilan profil dari sirkulasi *nonbuoyant submerged* dan *surface jets discharge* dalam aliran ambient *cross-flow* pada daerah *near-field*. Sedangkan Kim (2001), melakukan pemodelan tentang proses pencampuran air panas discharge pada sebuah *submerged multiport diffuser*. Penelitian yang lain seperti yang dilakukan Mukhtasor, dkk (2002) menghasilkan pendekatan baru mengenai pemodelan *initial dillution* pada daerah *buoyancy-dominated jet*, baik pada BDNF maupun BDFF, yang lebih sistematis dari model asimtotik (Lee and Cheung, 1991). Pribadi (2005) dalam tugas akhirnya menganalisa bagaimana cara ataupun metode yang paling baik yang digunakan pada fasilitas pembuangan agar effluen dapat diarahkan pada proses alami dalam laut sehingga limbah stabil dan tidak merusak lingkungan dengan melakukan variasi sudut port pada arus *co-flow*.

Untuk kasus studi yang lain, Wright (1977) menjelaskan mengenai pengaruh aliran ambien *cross-flow* dan stratifikasi densitas pada karakteristik dasar dari turbulensi disekitar *buoyant jets*. Lee dan Cheung (1991) telah melakukan studi eksperimen untuk memodelkan sistem outfall dengan terminal pembuangan (port) mengarah vertikal atau tegak lurus terhadap arah arus dan menghasilkan suatu nilai konstanta initial dilution pada zona BDNF, untuk $y/l_b \ll 1$ didapatkan nilai C_1 sebesar 0.31. Sedangkan data dilusi pada zona BDFF, dengan $y/l_b \gg 1$ didapatkan nilai konstanta

initial dilution $C_2 = 0.51$. Akan tetapi hasil ini belum memberikan nilai dilusi yang baik karena secara probabilistik dan deterministik model dilusi yang diperoleh Lee dan Cheung (1991) pada zona BDNF masih di bawah perkiraan.

Pribadi (2005) dalam tugas akhirnya menganalisa bagaimana cara ataupun metode yang paling baik yang digunakan pada fasilitas pembuangan agar effluen dapat diarahkan pada proses alami dalam laut sehingga limbah stabil dan tidak merusak lingkungan dengan melakukan variasi sudut port. Dari konfigurasi *outfall* menggunakan variasi sudut *port* yang berbeda, didapatkan bahwa *outfall* dengan sudut *port* 30° memiliki kenaikan gerak *plume* paling tinggi, dengan konstanta elevasi 2.3105, dan sebaliknya *outfall* dengan sudut *port* 60° menghasilkan *initial dilution* paling besar, dengan konstanta *initial dilution* 0.0664. Penelitian ini hanya untuk kasus effluen *co-flow* (searah arus), sedangkan untuk kasus effluen *cross-flow* (berlawanan dengan arus) perlu dilakukan suatu percobaan untuk diketahui hasilnya.

Suatu pemodelan fisik di laboratorium perlu dilakukan untuk mendapatkan nilai dilusi dari effluen *cross-flow* dengan menggunakan cara analisa dimensi dan metode regresi linier dari data temperatur excess hasil percobaan. Serta melakukan variasi terhadap orientasi arah atau sudut *port* terhadap *outfall* sehingga dapat diketahui pengaruh perbedaan orientasi sudut *port* terhadap besaran dilusi dan mendapatkan model perancangan yang tepat, kemudian dibandingkan dengan nilai dilusi dari effluen *co-flow* pada proses *initial dilution* dari suatu *ocean outfall*.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan utama yang diangkat dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh perubahan sudut *port* terhadap effluen *cross-flow* pada proses *initial dilution* dari suatu effluen/limbah yang dibuang ke perairan melalui *ocean outfall* ?
2. Bagaimana perbandingan nilai dilusi pada arus *cross-flow* dan arus *co-flow* pada proses *initial dilution* dari suatu *ocean outfall*?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari perumusan masalah diatas, dapat diambil suatu tujuan dari penelitian yang dilakukan, yaitu :

1. Mengetahui pengaruh perubahan sudut *port* terhadap effluen *cross-flow* pada proses *initial dilution* dari suatu effluen/limbah yang dibuang ke perairan melalui *ocean outfall*.
2. Mengetahui perbandingan nilai dilusi pada arus *cross-flow* dan arus *co-flow* pada proses *initial dilution* dari suatu *ocean outfall*.

1.4 Manfaat Penelitian

Beranjak dari tujuan yang ingin dicapai, maka Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Dengan diketahuinya karakterisasi *initial dilution* akibat pengaruh sudut *port* pada suatu outfall dengan effluen *cross-flow* maka pendesainan dan perancangan *ocean outfall* yang baik dapat dilakukan.
2. Dapat memberikan perbandingan nilai dilusi pada arus *cross-flow* dan arus *co-flow* pada proses *initial dilution* dari suatu *ocean outfall*.

1.5 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang akan dipecahkan tidak terlalu meluas maka perlu adanya batasan masalah, sebagai berikut:

1. Pemodelan dilusi hanya dipengaruhi oleh arus, tidak dipengaruhi oleh besarnya gelombang.
2. Kecepatan arus pada seluruh kedalaman air baik di permukaan maupun dasar adalah sama (uniform).
3. Fluida buangan atau effluen bersifat incompressible dan inviscid.
4. Proses pencampuran (mixing process) terjadi pada zona BDNF dimana $z/l_b \ll 1$.
5. Struktur *outfall* menggunakan satu saluran pembuangan (single port submerged discharge).

“Dan kalau Kami menghendaki, sesungguhnya Kami tinggikan (derajat)nya dengan ayat-ayat itu, tetapi dia cenderung kepada dunia dan menurutkan hawa nafsunya yang rendah, maka perumpamaannya seperti anjing jika kamu menghalaunya diulurkannya lidahnya dan jika kamu membiarkannya dia mengulurkan lidahnya (juga). Demikian itulah perumpamaan orang-orang yang mendustakan ayat-ayat Kami. Maka ceritakanlah (kepada mereka) kisah-kisah itu agar mereka berfikir”
(Q. S. A-A’raaf: 176)



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Shear dengan kecepatan tinggi dapat menyebabkan *turbulent entrainment* dan sumber fluida bercampur dengan air laut yang belum terkontaminasi sampai kenaikan tertentu, yang akan mendapatkan momentum vertical dari percepatan buoyancy, dan akhirnya pembentangan effluen terbentuk pada permukaan laut (Hino, 1994).

Outfall merupakan salah satu struktur hidraulika yang menghubungkan antara *dry land headwork* dengan lokasi terminal pembuangan (submerged port) pada suatu sistem pembuangan limbah (Jirka, 2002). *Outfall* tersusun oleh tiga komponen penyusun, yaitu :

1. Onshore headwork (gravity atau pumping basin)
2. Feeder pipe line, yang menghubungkan limbah cair atau effluent ke suatu area lingkungan dimana limbah itu dibuang.
3. Diffuser, yang merupakan bagian ujung pembuangan dimana effluent dibuang ke perairan laut melalui port atau risers dispersing, sehingga meminimumkan kerugian terhadap kualitas air laut.

Dari segi perancangan, struktur *Outfall* dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Berdasarkan konstruksi : perpipaan (tailing) dan tunnel.
2. Berdasarkan jumlah port : single port discharge dan multi port discharge.

Dalam penggunaannya, *Outfall* digunakan untuk pembuangan limbah-limbah yang bersifat non konservatif, seperti limbah bakteri, bahan-bahan organik dan limbah cairan panas.

Penyebaran limbah cair dari suatu keluaran *Ocean Outfall* ke badan air laut diduga analog dengan keluarnya asap dari suatu cerobong pabrik. Dalam analog ini sebaran

limbah cair yang keluar dari suatu port naik dan menyebar sebagai akibat adanya gaya buoyancy (Wright, 1977). Effluen akan tersebar searah arus *receiving water* (air laut) dan terdifusi ke arah horizontal dan vertikal yang tegak lurus dengan arah arus. Faktor lain yang berpengaruh terhadap perilaku penyebaran limbah cair ini adalah sifat fisik dan sifat kimia effluen, keadaan lingkungan receiving water (suhu, densitas, salinitas) dan kecepatan alir effluent itu sendiri.

Near field merupakan suatu zona atau area buangan dimana lintasan dan proses pencampuran dipengaruhi momentum fluks, bouyansi fluks, geometri dari *discharge port* dan geometri dari effluent (Doneker, 1996). Effluent mengalir dari *submerged discharge port* memberikan diskontinuitas kecepatan antara effluent dengan fluida ambient. Terbentuk suatu penambahan lebar aliran fluida yang turbulen di segala arah akibat entrainment pada sisi-sisi luar lintasan. Proses pencampuran, dipengaruhi oleh kejadian arus silang (cross flow) atau perbedaan densitas, termasuk jet mixing, buoyant mixing, interaksi dengan air permukaan dan batas dasar perairan. Berdasarkan kestabilan buangannya, aliran *near field* dibagi menjadi 2, yaitu :

- a. *Stable discharge*, biasanya terjadi karena kombinasi gaya apung yang besar, momentum yang lemah dan pada laut yang dalam.
- b. *Unstable discharge*, terjadi karena buoyansi yang lemah dan di kedalaman laut yang kecil (dangkal).

2.2 Dasar Teori

Initial dilution merupakan salah satu aspek yang paling penting dalam suatu pendesainan outfall, yang mana merupakan ukuran perbandingan konsentrasi dari suatu polutan limbah cair pada saat dibuang dengan konsentrasinya saat berada pada level kesetimbangan, baik pada permukaan atau di dasar laut (Mukhtasor dkk, 2002), dan dirumuskan sebagai berikut:

$$S = \frac{(C_d - C_a)}{(C - C_a)} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

- S = initial dilution
- C_d = konsentrasi effluent

- C_a = konsentrasi *ambient*
- C = konsentrasi pada kesetimbangan

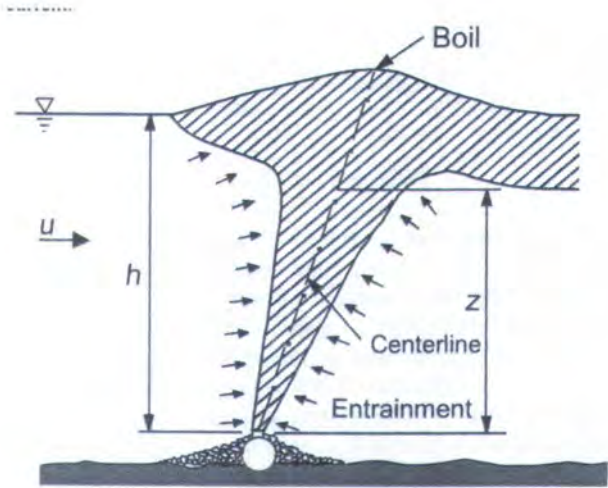
Atau dapat dinyatakan sebagai perbandingan temperatur, yang dirumuskan :

$$S = \frac{(T_d - T_a)}{(T - T_a)} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

- T_d = temperatur *effluent*, dalam °C
- T_a = temperatur *ambient*, dalam °C
- T = temperatur pada level kesetimbangan, dalam °C

Initial dilution terjadi karena *entrainment* di sekitar fluida selama *effluent* mengalami gerakan *rising* atau *sinking* yang berasal dari terminal *outfall* (*ports*). Gambar 1 menunjukkan tipikal model dari sebuah gerakan rising *buoyant jet* dengan adanya arus. Sedangkan gerakan ini timbul karena adanya perbedaan densitas dan temperatur dari air limbah dengan air laut. Besarnya nilai dilusi dapat digambarkan sebagai lintasan seperti *smoke*, warna, panas, salinitas, bakteri, *dissolved oxygen* dan *turbidity* sumber *effluent*.



Gambar 2.1 Tipikal representasi dari *buoyant-jet discharge* dalam arus
(Mukhtasor dkk, 2002)

Beberapa analisa teoritis sudah diadakan percobaan dengan pengembangan dari pendekatan dimensional. Pada turbulensi di sekitar *buoyant-jet discharge* pada aliran air unstratified, *initial dilution* secara fisik dapat direpresentasikan dengan parameter-parameter yang relevan (Mukhtasor dkk, 2002) :

$$S = f(Q, M, B, u, z) \dots\dots\dots (2.3)$$

$$M = V_j Q \dots\dots\dots (2.4)$$

$$B = Qg \frac{\rho_a - \rho_o}{\rho_o} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$Q = V_j \pi D^2 / 4 \dots\dots\dots (2.6)$$

- dimana :
- S = *initial dilution* pada elevai z
 - Q = debit effluen yang dikeluarkan, dalam m³/s
 - M = momentum flux, dalam m⁴/s²
 - B = buoyancy flux, dalam m⁴/s³
 - D = diameter port (nozzle), dalam m
 - u_o = kecepatan effluen, dalam m/s
 - ρ_o = densitas effluen, dalam kg/m³
 - ρ_a = densitas ambient, dalam kg/m³
 - g = percepatan gravitasi, dalam m/s²

Analisa dimensional dari parameter diatas, pada kondisi aliran yang memiliki perbedaan densitas, ditunjukkan oleh dua skala panjang,

$$l_M = \frac{M^{3/4}}{B^{1/2}} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$l_Q = \frac{Q}{M^{1/2}} \dots\dots\dots (2.8)$$

- dimana :
- l_M = skala panjang transisi jet/plume
 - l_Q = skala geometri dari pembuangan

Apabila z sangat kecil dibandingkan dengan l_Q maka perilaku dari plume sulit untuk diprediksikan. Untuk $z > l_Q$, geometri dari jet tidak diperhitungkan dan perilaku dari aliran dibentuk oleh M dan B , dan dimana $z > l_M$ maka buoyancy menjadi lebih efektif dan membentuk suatu alirannya membentuk suatu plume.

Dengan adanya kecepatan arus ambient, dapat dibentuk 2 persamaan skala panjang, l_m dan l_b , yang didefinisikan sebagai berikut :

$$l_m = \frac{M^{1/2}}{u_a} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$l_b = \frac{B}{u^3} \dots\dots\dots (2.10)$$

Skala panjang l_m menghubungkan interaksi antara momentum yang mendominasi gerakan effluent dengan besarnya arus yang terjadi. Sedangkan l_b menunjukkan jarak vertical pada kecepatan yang dipengaruhi buoyansi (proporsional untuk $B^{1/3}/z^{1/3}$) terdegradasi oleh kecepatan arus ambient u .

Dan apabila dihubungkan dengan persamaan skala panjang diatas akan dapat diperoleh parameter non dimensional sebagai berikut :

$$S = f\left(\frac{l_Q}{l_b}, \frac{l_m}{l_b}, \frac{z}{l_b}\right) \dots\dots\dots (2.11)$$

2.2.1 Turbulensi Disekeliling Semburan

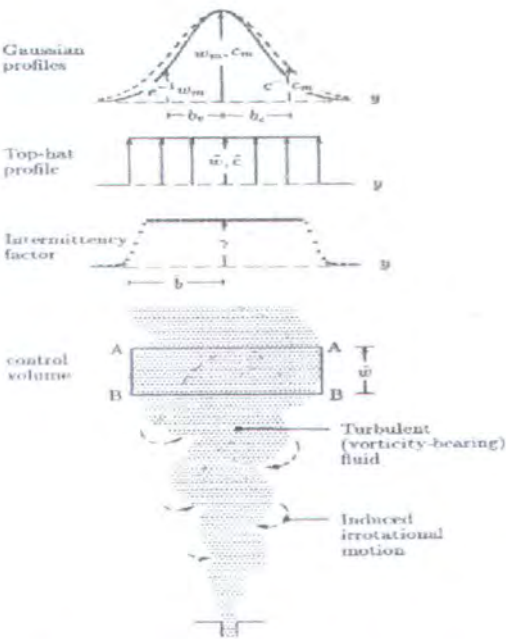
Bagian terpenting dari jet adalah momentum fluks yang besarnya konstan sebanding dengan pertambahan skala gerak turbulen dengan jaraknya terhadap sumber (Chu, 1996). Kecepatan dari profil jet dirumuskan menggunakan distribusi Gaussian, lihat Gambar 2.2.

Hubungan dari kecepatan (w), jari-jari profil (r), jarak longitudinal terhadap sumber (z) dan momentum fluks (M_o), dituliskan sebagai fungsi,

$$W = f(r,z,M_o,\rho) \qquad \qquad \qquad \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan lima variable dan tiga dimensi dasar (M, L, T), kecepatan jet dapat dirumuskan dalam dua parameter dibawah :

$$wz \sqrt{\frac{\rho}{M_o}} \qquad \text{dan} \qquad \frac{r}{z} \qquad \qquad \qquad \dots\dots\dots (2.13)$$



Gambar 2.2 Jet dan plume turbulen pada lingkungan air tenang (Chu, 1996).

- keterangan gambar :
- b_v = lebar profil jet
 - w_m = kecepatan center
 - w = kecepatan jet
 - r = radius terhadap *centre line*

Konsentrasi dari fluida berkurang dengan semakin bertambahnya jarak terhadap sumber, akibat proses dilusi dari semburan effluen. Pertambahan volume fluks

terhadap jarak dari sumber merupakan hasil dari entrainment fluida irrotational yang berasal dari lingkungan. Sehingga inflow yang terjadi pada tepi body sama dengan penambahan fluks, dan dapat dirumuskan sebagai berikut,

$$2\pi b v_{eG} = \frac{dQ}{dz} \dots\dots\dots (2.14)$$

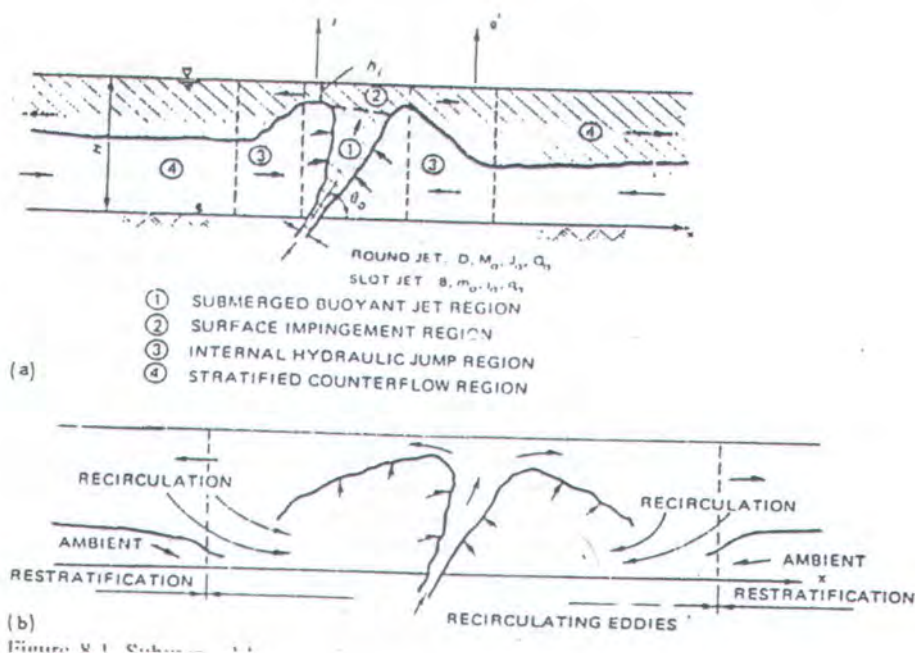
$$\alpha_G = \frac{v_{eG}}{w_m} = \frac{1}{2\pi b_v w_m} \frac{dQ}{dz} \dots\dots\dots (2.15)$$

dimana : b_v = lebar semburan/jet
 v_{eG} = kecepatan entrainment
 α_G = koefisien entrainment

2.2.2 Single Port Submerged Discharge

Lihat Gambar 2.3, yang menunjukkan skema diagram dari *submerged single port outfall*. Gambar tersebut merupakan bentuk sederhana dari *outfall* jenis ini, dan hanya dapat dibuka dan ditutup di dasar laut. Effluen dikeluarkan dari nozzle dengan kecepatan U_o , perbedaan densitas relatip $\Delta\rho_o/\rho_a$ dan percepatan gravitasi $g' = (\Delta\rho_o/\rho_a)g$, dengan diameter lubang nozzle/diffuser sebesar D (Jirka, 1986).

Untuk proses dilusi dimana jet Reynold numbernya, $Re = U_oD/V$ mencapai 2000, hal ini sering terjadi pada kondisi praktis dan alirannya adalah turbulen. Konsentrasi dan kecepatan daripada proses dilusi ini ditentukan oleh dua parameter penting, yaitu harga Froude Number (F_o), $F_o = \frac{u_o}{\sqrt{g'D}}$ dan kedalaman relatif z/D .



Gambar 2.3(a) Discharge pada air dalam dengan konfigurasi *discharge* stabil

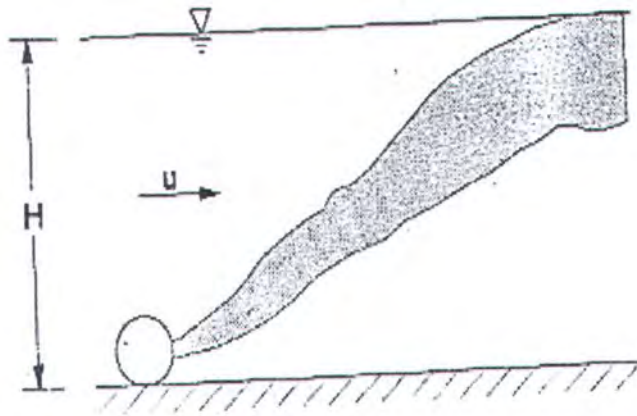
(b) Discharge pada air tenang (dangkal) dengan zona resirkulasi
Tidak Stabil. (Jirka, 1986)

2.2.3 Aliran Pada Zona Near Field

Near field flows mengandung pengertian suatu daerah dimana $z/l_m \ll 1$ untuk aliran didominasi oleh momentum (*momentum dominated flows*) dan $z/l_b \ll 1$ untuk daerah aliran yang didominasi bouyansi (*buoyancy dominated flows*). Semburan effluen tidak mengalami penyimpangan (*deflected*) dan tetap bergerak naik secara vertical. Percepatan yang berasal dari tekanan nozzle (*pressure jet*) dan entrainment momentum horizontal dari arus silang, yang disebabkan oleh adanya gaya geser turbulen (*turbulent shear*) yang berasal dari kecepatan horizontal yang berbeda dapat memberikan efek terhadap *deflected*. Percepatan ini hanya sedikit sekali terjadi pada diameter nozzle dan area dimana z/l_Q kecil (Roberts, 1996).

2.2.4 Single Plume, Flowing Current, Unstratified

Lihat Gambar 2.4 dibawah, yang menunjukkan buoyant jet tunggal pada kondisi arus silang dan uniform. Suatu pergerakan arus dapat menyebabkan plume membentuk suatu arus bawah dan menambah besarnya dilusi.



Gambar 2.4 Buoyant jet tunggal pada kondisi arus silang dan *uniform*
(Roberts, 1996).

Parameter yang terpenting untuk sewage outfalls adalah buoyansi fluks, skala panjang yang digunakan untuk efek dari arus adalah (Roberts, 1996) :

$$l_s = \frac{B}{u^3} \dots\dots\dots (2.16)$$

Lee & Cheung (1991) menganalisa masalah ini dengan mengabaikan volume sumber dan momentum fluks, sehingga didapatkan besaran dilusi sebagai berikut :

$$\frac{SQ}{B^{1/3} z^{5/3}} = 0,10 \left(\frac{z}{l_b} \right) \quad \text{(zona Buoyancy Dominated Near Field)} \\ \text{(BDNF))} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\frac{SQ}{B^{1/3} z^{5/3}} = 0,51 \left(\frac{z}{l_b} \right) \quad \text{(zona Buoyancy Dominated Far Field)} \\ \text{(BDFF))} \dots\dots\dots (2.18)$$

Nilai konstanta dapat diperkecil dari efek permukaan bebas, selain itu dalam aliran arus ambient, plume dapat membentuk vortex pair yang disebabkan oleh aliran rata-rata. Untuk $z \gg l_s$, aliran fluida dapat dikategorikan sebagai *buoyancy dominated far-field* (BDFF), sehingga persamaan 2.18 dapat digunakan.

2.2.5 Single Plume, Flowing Current, Stratified

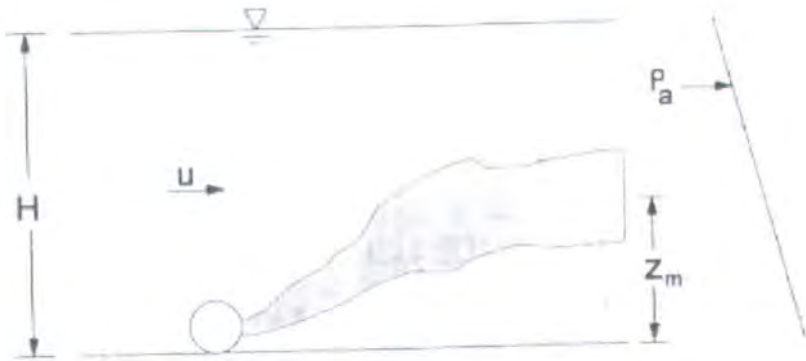
Vertical buoyant jet dalam suatu aliran yang memiliki perbedaan densitas serta adanya pengaruh arus dan mendapatkan solusi untuk peristiwa dimana *buoyancy* mendominasi pergerakan semburan effluent (Roberts, 1996). Penyelesaian daripada kenaikan fluks adalah sebagai berikut :

$$\frac{z_e}{l_s} = 1.8 \left(\frac{l_a}{l_s} \right)^{2/3} \dots\dots\dots (2.19)$$

dimana $l_s = u/N$. Rumus diatas bisa juga digunakan untuk pembuangan effluen secara horizontal serta memiliki momentum yang kecil. Untuk memprediksikan dilusi minimum pada *port* dari kenaikan fluks, Wright mengganti z pada Persamaan 2.15 dengan z_e pada Persamaan 2.17, dan dihasilkan :

$$\frac{S_m Q_j N^{4/3}}{u^{1/3} B^{2/3}} = 1.33 \dots\dots\dots (2.20)$$

Keadaan diatas dapat dilihat pada Gambar 2.5 dibawah berikut :



Gambar 2.5 Buoyant jet tunggal pada kondisi arus silang dan *nonuniform*
(Roberts, 1996)

2.2.6 Aliran Laminer dan Turbulent

Aliran laminer adalah keadaan fluida yang bergerak sesuai aliran, alirannya tidak bercampur dengan aliran melintang, paralel satu dengan yang lainnya (Indiyono, 1999).

Aliran turbulent adalah keadaan fluida dimana komponen kecepatannya mempunyai aliran yang berbentuk *random* atau terfluktuasi. Alirannya akan bercampur antara paralel dan transversalnya.

2.2.7 Pemodelan Fisik Initial Dilution

Percobaan yang dilakukan dengan membuat bentuk lebih kecil dengan prinsip kesebangunan (similiaritas) yang memadai di laboratorium dikenal dengan istilah pemodelan fisik (Hughes, 1993). Dengan dibuatnya suatu model maka akan dapat diprediksikan perilaku dari suatu model yang akan dibangun.

Dalrymple (1985), menunjukkan dua keuntungan menggunakan pemodelan fisik untuk proses-proses pantai, yaitu :

1. Persamaan yang digunakan dalam pemodelan fisik tanpa penyederhanaan asumsi sebagaimana yang digunakan untuk model matematis atau model analitis.
2. Dengan model dalam skala kecil akan mengurangi biaya jika dibandingkan dengan pengumpulan data lapangan yang sulit dicapai secara simultan.

Akan tetapi Hughes (1993) menyatakan bahwa pemodelan fisik juga terdapat beberapa kesalahan yang mungkin terjadi, diantaranya :

1. Efek skala

Terjadi karena model lebih kecil dari prototip yang sebenarnya, sehingga tidak mungkin mensimulasikan semua variable yang relevan dalam hubungan yang benar satu sama lain.

2. Efek laboratorium

Dapat mempengaruhi proses simulasi secara keseluruhan, karena tidak mampu untuk menghasilkan kondisi pembebanan yang realistis serta

pengaruh keterbatasan yang dimiliki model terhadap proses yang disimulasikan.

3. Kadangkala fungsi gaya dan kondisi batas yang terjadi di alam tidak dimasukkan dalam pemodelan fisik.
4. Pemodelan fisik sangat mahal untuk dioperasikan dibandingkan dengan pemodelan matematis.

Model pembuangan limbah panas pada sistem outfall melibatkan beberapa proses fisika yang bervariasi dan kompleks, diantaranya adalah proses injeksi, disperse dan pendinginan limbah panas saat terjadi pelarutan dengan air laut, sehingga dibutuhkan prinsip kesebangunan (thermal similitude) dalam pemodelan fisik.

Kesebangunan yang sesuai untuk kenaikan buoyansi dari *discharge jet*, saat diinjeksikan di bawah permukaan air, bergantung pada besarnya gravitasi dan perbedaan relatif densitas antara effluen dengan ambient (Hughes, 1995). Hal ini dipenuhi dengan mengatur nilai bilangan Froude yang sama antara model dan prototype, dimana :

$$F_o = \frac{u_o}{\sqrt{g\left(\frac{\rho_w - \rho_d}{\rho_w}\right)h}} \dots\dots\dots (2.21)$$

- dengan : u_o = kecepatan arus ambient
- g = percepatan gravitasi
- h = kedalaman air
- ρ_w = densitas ambient
- ρ_d = densitas effluent

Dan skala yang diperbolehkan adalah :

$$\frac{N_v}{\sqrt{N_g N_L N_s}} = 1 \dots\dots\dots (2.22)$$

dimana :

$$N_s = \frac{\left(\frac{\rho_w - \rho_d}{\rho_w}\right)_p}{\left(\frac{\rho_w - \rho_d}{\rho_w}\right)_m} = 1 \qquad \dots\dots\dots (2.23)$$

Studi model harus memperhatikan proses fisik yang akan ditirukan, sehingga kejadian dan perilaku yang timbul pada model sebangun dengan yang ada di prototype. Kesebangunan ini meliputi sebangun geometric (*geometric similarity*), sebangun kinematik (*kinematic similarity*) dan sebangun dinamik (*dynamic similarity*) (Hughes, 1993).

2.2.8 Sudut Inklinasi Jet

Dalam pendesainan *outfall*, selalu ada pemikiran untuk mendesain *buoyant jet* dengan arah vertikal. Pada beberapa desain konfigurasi, *buoyant jet* dengan arah horisontal atau dengan sudut kemiringan yang lain, lebih efektif penggunaannya daripada *buoyant jet* dengan arah vertikal. Sebagai contoh, jika *jet* limbah cair dimasukkan ke dalam air yang dangkal, untuk memaksimalkan pengenceran, aliran panjang dari *jet* dapat diperpanjang dengan mengarahkan aliran *jet* ke arah horisontal atau ke arah sudut tertentu (Fischer, 1979).

Perilaku dari *buoyant jet* ditentukan oleh bilangan *Richardson*:

$$R_o = QB^{1/2} / M^{5/4} \qquad \dots\dots\dots (2.24)$$

dimana hubungan tersebut hanya untuk gerakan *buoyant jet* secara vertikal keatas, percobaannya telah dilakukan oleh (Abraham, 1967; Turner, 1966) untuk jet vertikal dan mendapatkan nilai konstanta antara 1.5 and 2.1.

Non vertikal jet dengan arah *plume* membentuk sudut terhadap arah arus untuk positif maupun *negative buoyant* telah diestimasikan bahwa sudut *port* (θ) yang memberikan arah gerakan non vertikal pada *discharge* berpengaruh pada perilaku kenaikan *plume* pada elevasi tertentu, yang mana $z \sim (M \sin \theta)^{3/4} / B^{1/2}$. Pada elevasi tertentu, akibat adanya gerakan arus secara horisontal, *plume* mengalami pembelokan

(*bent over*) menuju permukaan, sehingga dapat diketahui bahwa gerakan *negative buoyant* memiliki batas elevasi tertentu.

2.2.9 Jet dan Plume

Pure plume dapat dianalisa dengan mudah dibandingkan dengan *pure jet*, hal ini dikarenakan tidak adanya *initial* volume dan momentum fluks, dan bentuknya seperti asap dari api. Hal ini berarti seluruh variabel yang berpengaruh terhadap *plume* hanya buoyansi fluks, kedalaman *discharge* (*z*) dan viskositas *plume* (*v*). Densitas effluen lebih kecil dibandingkan dengan *ambient*, karena pengaruh temperatur yang lebih tinggi ± 30°C, sehingga kekuatan gaya gravitasi menggantikan momentum dari gerakan *plume*. Pada jarak yang jauh dari sumber, gerakannya adalah turbulen, akibat adanya *entrainment* oleh pengaruh arus yang menyebabkan fluida *ambient* menyusup ke badan *plume*. Berdasarkan eksperimen sebelumnya (Fischer, 1979), *plume* ini memiliki volume yang besarnya dapat ditunjukkan oleh hubungan *M*, *Q*, *l_Q* dan *z*, yang dirumuskan:

$$\mu = [7,0\pi(M/Q)(l_Q/z)](0,107z)^2 \dots\dots\dots (2.25)$$

2.2.10 Analisa Dimensi

Analisa dimensi merupakan prosedur rasional untuk mengkombinasi variable fisik kedalam hasil atau bilangan tak berdimensi, dengan mengurangi jumlah variable yang masih dipertimbangkan (Hughes, 1993). Dalam pembuatan model akan diperoleh suatu variable yang bersifat dependent dan independent yang dapat menggambarkan hasil penelitian dalam bilangan tak berdimensi. Beberapa cara yang digunakan dalam menentukan bilangan tak berdimensi adalah sebagai berikut :

1. *Basic Echelon Matrix*
2. *Stepwise*
3. *Langhaar*
4. *Buckingham (phi theorem)*
5. *Rayleigh*

Teori *Buckingham* merupakan prosedur sistimatis dalam menentukan nilai atau produk tak berdimensi yang komplit, yang berasal dari beberapa variable proses, dan didahului oleh petunjuk berapa banyak bilangan tak berdimensi yang dibentuk. Teori *Buckingham* akan dipakai dalam penelitian ini untuk menentukan bilangan tak berdimensi.

Aturan daripada teori Buckingham untuk persamaan homogen yang tak berdimensi yang menyertakan “n” variable, hasil bilangan tak berdimensi yang terbentuk adalah “n – r” dimana “r” adalah angka dimensi dasar yang terkandung di dalam variable. Beberapa persamaan dapat diuraikan atau dibentuk kembali ke dalam suatu persamaan baru tak berdimensi (π), dimana :

$$\pi_1 = \psi (\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{n-r})$$

Untuk permasalahan hidrodinamika pantai, khususnya untuk percobaan dilusi *outfall*, model fisik dari aliran fluida dapat diuraikan menjadi kecepatan (u), panjang (L), buoyansi (B), momentum (M), debit (Q), densitas (ρ), temperatur (T) dan percepatan gravitasi (g). Sehingga variable diatas digunakan untuk menentukan bilangan tak berdimensi dan disusun dalam matriks dibawah ini :

	u	D	T	ρ	B	g	M	Q
L	1	1	0	-3	4	1	4	3
T	-1	0	0	0	-3	-2	-2	-1
M	0	0	0	1	0	0	0	0
K	0	0	1	0	0	0	0	0

Gambar 2.6 Matriks variabel yang digunakan beserta dengan bilangan tak berdimensinya.

Dari beberapa variabel pada matriks diatas, variabel yang mengalami perubahan adalah (u, T, B, M, Q, ρ), dimana :

- u = kecepatan arus
- T = temperature effluent

- M = momentum jet
- ρ = densitas effluent
- B = buoyansi effluent
- Q = debit effluen yang dikeluarkan

2.2.11 Regresi Linear

Regresi pertama kali digunakan oleh *Francis Galton*. Dalam papernya yang terkenal, Galton menemukan bahwa meskipun terdapat tendensi atau kecenderungan bahwa orang tua yang tinggi akan mempunyai anak yang tinggi dan orang tua yang pendek akan mempunyai anak yang pendek juga, tetapi rata-rata tinggi badan anak-anak yang lahir dari orang tua dengan tinggi badan tertentu cenderung bergerak regress ke arah rata-rata tinggi badan anak seluruh populasi tersebut. Dengan kata lain, “tinggi badan anak” dari orang tua yang tinggi dan “tinggi badan anak” dari orang tua yang pendek cenderung untuk bergerak menuju “rata-rata tinggi badan anak” dari seluruh populasi (Hakim, 2004). Hukum regresi universal dari Galton tersebut dijelaskan dengan data empiris oleh temannya, *Karl Pearson*, yang mengumpulkan data lebih dari seribu rumah tangga dengan tinggi badan anak dan orangtuanya. Pearson menemukan dua hal :

- “Rata-rata tinggi badan anak dari kelompok orang tua yang tinggi” adalah kurang dari “tinggi badan ayah mereka”.
- “Rata-rata tinggi badan anak dari kelompok orang tua yang pendek” adalah lebih dari “tinggi badan ayah mereka”.

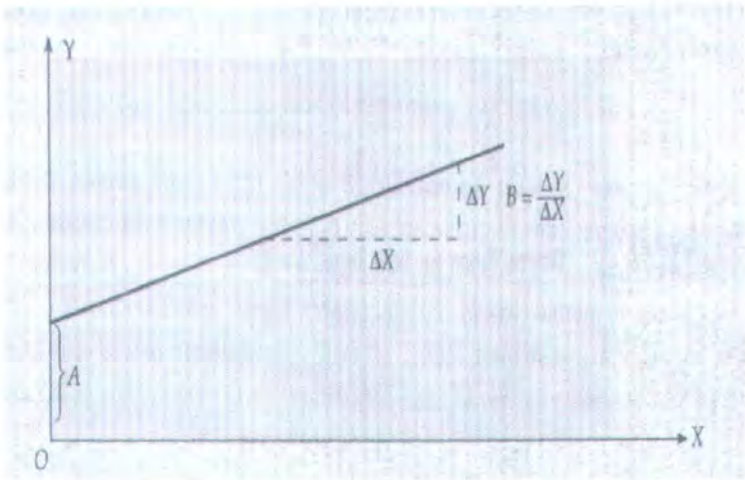
Salah satu tujuan analisis data adalah untuk memperkirakan/memperhitungkan besarnya efek kuantitatif dari perubahan suatu kejadian terhadap kejadian lainnya. Adalah tidak mungkin untuk memperkirakan hubungan antara dua variabel tanpa membuat asumsi terlebih dahulu mengenai bentuk hubungan yang dinyatakan dalam fungsi tertentu. Dalam beberapa hal, kita bisa mengecek asumsi tersebut setelah hubungan diperkirakan (Supranto, 2001). Fungsi linear, selain mudah interpretasinya, juga dapat digunakan sebagai pendekatan (aproximation) atas hubungan yang bukan linear (non linear).

Fungsi linear, mempunyai bentuk persamaan sebagai berikut :

$$Y = A + BX \qquad \qquad \qquad \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana A dan B adalah konstanta atau parameter, yang nilainya harus diestimasi.

Fungsi linear $Y = A + BX$ ini apabila digambarkan, akan tampak seperti dalam Gambar 2.7



Gambar 2.7 Fungsi linear $Y = A + BX$ (Supranto, 2001)

keterangan gambar :

- A = jarak titik asal O dengan perpotongan antara sumbu tegak Y dan garis fungsi lienear atau besarnya nilai Y kalau X = 0. Sering disebut "*intercept coefisient*"
- B = koefisien arah = koefisien regresi = beswarnya pengaruh X terhadap Y, apabila X naik 1 unit. Sering disebut "*slope coefficient*."

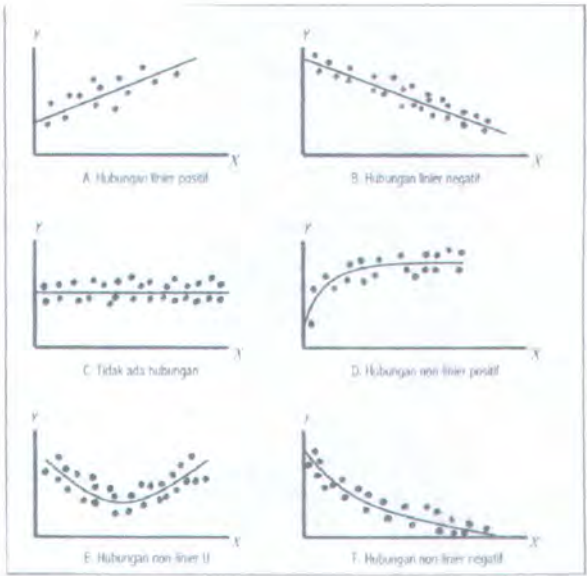
Persamaan $Y = A + BX$ juga bisa ditulis $Y = \beta_0 + \beta_1 X_i$ atau dengan simbol lainnya. Beberapa simbol yang sering digunakan dalam fungsi linier adalah :

- Δ = delta, simbol pertambahan
- ΔX = delta X, pertambahan X
- ΔY = delta Y, pertambahan Y

$B = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$ = rata-rata pertambahan Y per 1 unit (satuan) pertambahan X, atau pertambahan X 1 unit akan mengakibatkan pertambahan Y sebesar B.

2.2.12 Diagram Pencar

Diagram pencar adalah grafik dua dimensi yang memplot atau meletakkan nilai-nilai Y yang bersesuaian dengan nilai X-nya. Diagram pencar digunakan untuk lebih memahami regresi yang akan dibuat dan didapat dengan menggambarkan data yang diperoleh ke dalam sebuah grafik (Hakim, 2004). Dari diagram pencar, kita bisa melihat bahwa ada suatu bentuk hubungan tertentu antara Y dan X. Hubungan tersebut bisa diwujudkan dalam suatu persamaan matematis. Jenis hubungan yang bisa terbentuk sangat bermacam-macam, tergantung dari sifat hubungannya, dari fungsi matematis yang kompleks. Hubungan yang paling sederhana berupa fungsi linier, yang jika digambarkan akan berupa garis lurus. Bentuk model matematis dari hubungan antara dua buah variabel ditentukan oleh bentuk distribusi dari variabel-variabel tersebut. Gambar 2.9 adalah contoh dari bentuk-bentuk model yang mungkin terjadi.



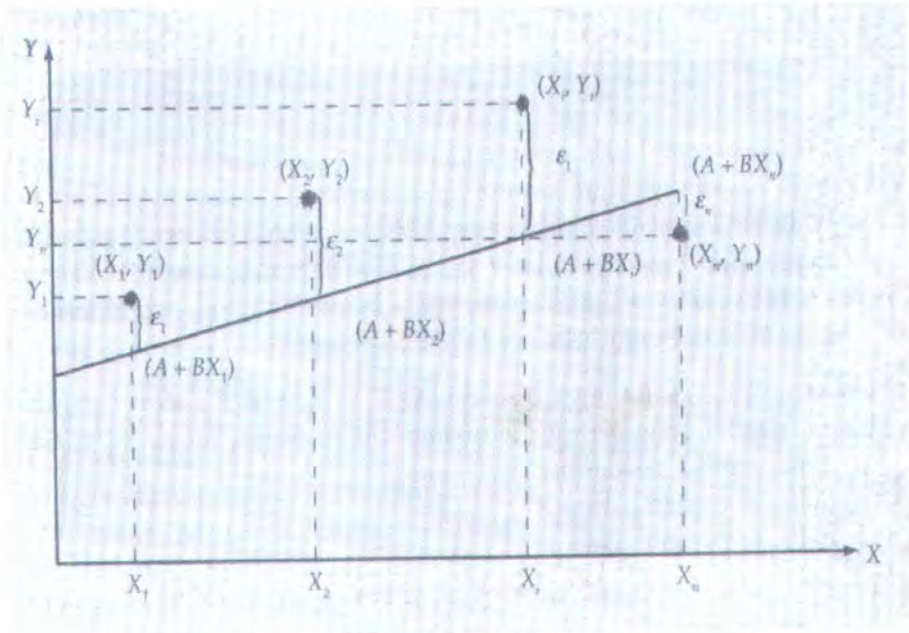
Gambar 2.8 Berbagai tipe hubungan yang digambarkan dalam diagram pencar (Hakim, 2004)

Dalam praktek, untuk melihat hubungan antara X dan Y, kita mengumpulkan pasangan data (X,Y) sebagai suatu observasi, misalnya sebagai berikut :

$$X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n$$

$$Y_1, Y_2, \dots, Y_i, \dots, Y_n$$

(X_i, Y_i) = observasi variabel X dan Y. Kesalahan pengganggu ϵ_i , yang berasosiasi dengan pasangan (X_i, Y_i) apabila digambarkan pada sumbu X dan Y akan kelihatan sebagai suatu kumpulan titik-titik koordinat (diagram pencar/*scatter diagram*). Perhatikan Gambar 2.8, yang menggambarkan variabel-variabel X dan Y, dan faktor ϵ_i yang berasosiasi dengan pasangan (X_i, Y_i) tersebut (Supranto, 2001).



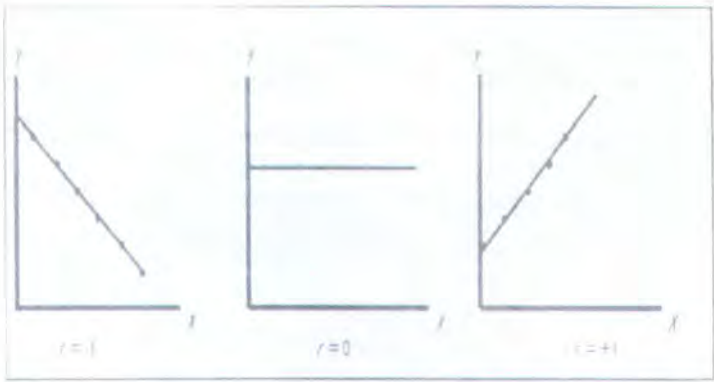
Gambar 2.9 Diagram pencar dan garis regresi $A + BX$
(Supranto, 2001)

Apabila parameter A dan B diketahui, kita bisa menggambarkan suatu garis regresi $A + BX$. Kesalahan pengganggu ϵ_i , akan sama dengan jarak vertikal antara nilai observasi (X_i, Y_i) dengan titik pada garis regresi $A + BX_i$. Garis regresi dimaksudkan sebagai pendekatan (*aproximation*) terhadap bentuk diagram pencar.

2.2.13 Korelasi

Setelah persamaan regresi dari data diperkirakan, masalah berikutnya yang dihadapi adalah menilai baik buruknya kecocokan model regresi yang digunakan dengan data. Jadi diperlukan ukuran tentang kecocokan model dengan data (Sembiring, 2003).

Jika analisis regresi bertujuan untuk memprediksi nilai variabel dependen dari informasi variabel independen, maka analisis korelasi bertujuan untuk mengukur derajat hubungan atau asosiasi dari dua buah variabel. Kekuatan dari hubungan antara dua variabel ini biasa dinyatakan dengan koefisien korelasi r yang nilainya dari -1 sampai dengan +1. Nilai -1 berarti korelasi negatif sempurna, 0 berarti tidak ada korelasi, dan +1 berarti korelasi positif sempurna. Gambar 2.10 memperlihatkan berbagai kemungkinan hubungan tersebut (Hakim, 2004).



Gambar 2.10 Tipe-tipe hubungan diantara variabel (Hakim, 2004).

Nilai r bisa dicari dari akar koefisien determinasi:

$$r = \sqrt{r^2} \dots\dots\dots (2.27)$$

Jika diadakan penelitian terpisah (antara regresi dan korelasi), maka besarnya koefisien korelasi dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}} \dots\dots\dots (2.28)$$

Atau bisa juga dicari dengan rumus koefisien korelasi yang lain:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}} \dots\dots\dots (2.27)$$

2.2.14 Transformasi Parameter Regresi

Tranformasi respon parameter Y, dengan menstabilkan transformasi varian seperti konversi Y kedalam akar kuadrat, *log* atau *reciprocal* adalah solusi untuk menyelesaikan masalah *non-constant variance*, tergantung dari kebutuhannya. Tranformasi dari respon parameter Y, mempengaruhi distribusi *error*-nya. *Error* yang terjadi setelah transformasi diasumsikan menjadi normal dengan *zero mean* dan *constant variance* N (0, σ²). Hal ini sangat penting untuk melihat apakah model matematis akhir yang didapat sesuai dengan asumsi (Draper & Smith, 1992)

Tabel 2.1 Transformasi Linier (Draper & Smith, 1992)

Transformation		Linear Function	Non linear Function
$\frac{1}{Y}$	X	$Y = \frac{1}{\beta_0 + \sum \beta_i X_i}$	-
$\frac{1}{Y}$	$\frac{1}{X}$	$Y = \frac{1}{\beta_0 + \sum \beta_i \frac{1}{X_i}}$	-
Y	$\frac{1}{X}$	$Y = \beta_0 + \sum \beta_i \frac{1}{X_i}$	-
Y	$\ln X$	$Y = \beta_0 + \sum \beta_i \ln X_i$	-
$\ln Y$	X	$\ln Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i$	$Y = e^{\beta_0 + \sum \beta_i X_i}$
$\ln Y$	$\ln X$	$\ln Y = \beta_0 + \sum \beta_i \ln X_i$	$Y = e^{\beta_0} \prod X_i^{\beta_i}$
$\ln(1 - Y)$	$\ln X$	$\ln(1 - Y) = \beta_0 + \sum \beta_i \ln X_i$	$Y = 1 - e^{\beta_0} \prod X_i^{\beta_i}$
$\ln\left(\frac{1}{Y} - 1\right)$	$\ln X$	$\ln\left(\frac{1}{Y} - 1\right) = \beta_0 + \sum \beta_i \ln X_i$	$Y = \frac{1}{1 + e^{\beta_0} \prod X_i^{\beta_i}}$

note :

$$\sum = \sum_{i=1}^{i=n, j=1}^{j=p}$$
and
$$\prod = \prod_{i=1}^{i=n, j=1}^{j=p}$$

*“.....dan agar orang-orang yang telah diberi ilmu,
meyakini bahwasanya Al Quran itulah yang hak dari
Tuhan-mu lalu mereka beriman dan tunduk hati mereka
kepadanya dan sesungguhnya Allah adalah Pemberi
Petunjuk bagi orang-orang yang beriman kepada jalan
yang lurus” (Q. S. Al-Hajj:54)*



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

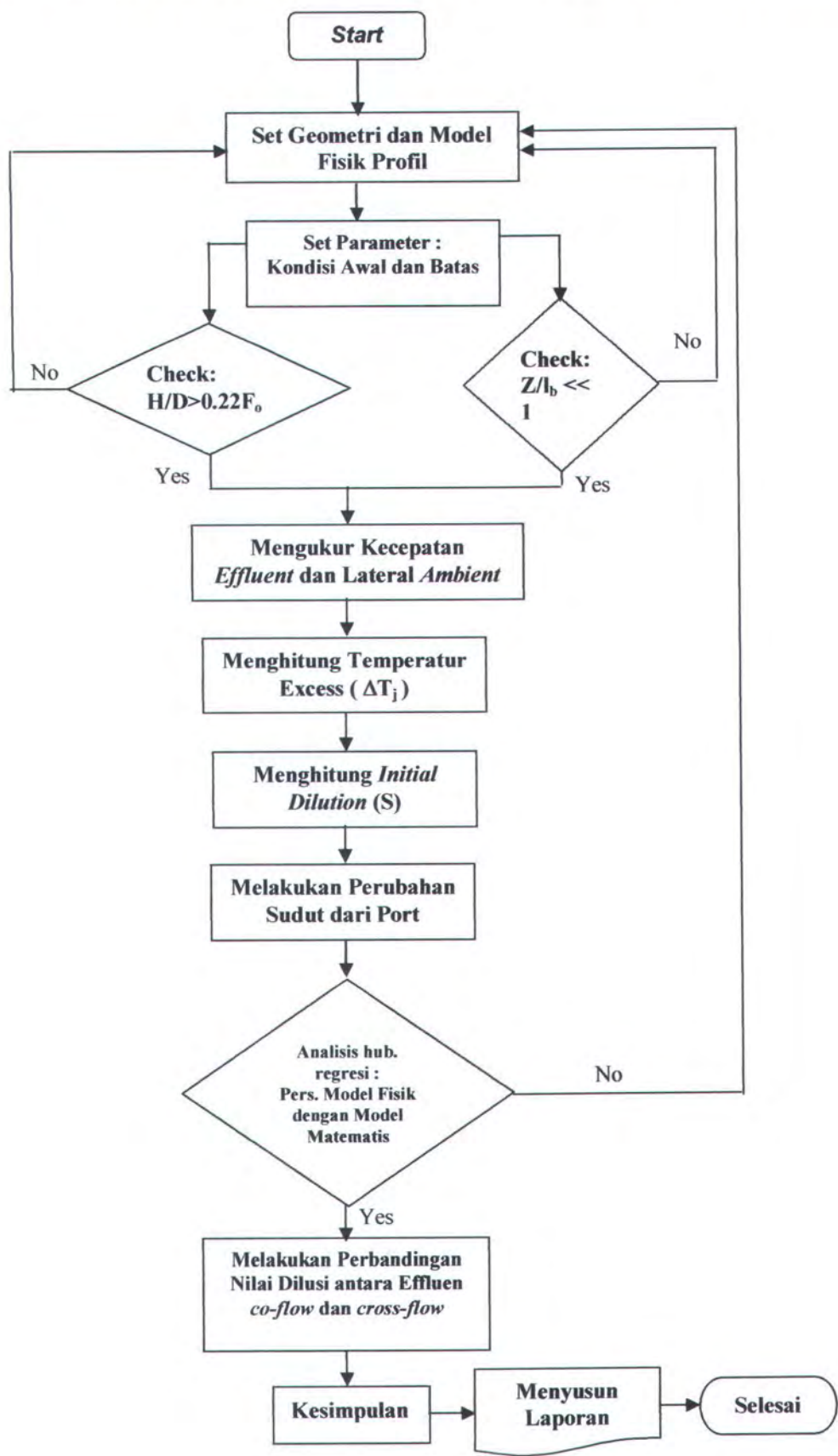
3.1 Prosedur Umum

Percobaan yang akan dilakukan ini bertujuan membuat suatu pemodelan polutan limbah panas secara fisik di laboratorium, menggunakan metode distribusi temperatur. Polutan limbah panas dibuang melalui struktur hidraulika yang disebut dengan *ocean outfall*, yang dapat mendilusikan atau mengencerkan sehingga konsentrasi atau temperatur limbah menjadi berkurang.

Polutan limbah panas (*thermal discharge*) diinjeksikan pada aliran arus *ambient* yang lemah menggunakan jenis *ocean outfall* yaitu *single port*. Polutan dimodelkan dari *fresh water* dengan *range* temperatur 40-70°C yang dikeluarkan melalui pipa serta melewati *nozzle* dengan diameter (D) = 0.75 cm. Percobaan untuk memodelkan secara fisik polutan limbah panas ini dilakukan di *flume tank* yang berukuran 20.3 m x 2.5 m x 2.3 m yang telah dilengkapi dengan *current generator* untuk menggerakkan arus lemah dengan *range* kecepatan 0.22 – 3.36 cm/s. Kedalaman air *ambient* (H) = 80 cm untuk semua percobaan dengan tujuan membiarkan *plume* mengalami kenaikan (*rising*) dengan bebas serta mengurangi pengaruh dari permukaan air.

Untuk memvisualisasikan proses terjadinya pengenceran dari dua fluida tersebut, *effluent* diberi zat warna berupa larutan *fluorescein*, serta dilakukan pengambilan gambarnya menggunakan kamera digital 3.0 Mega Pixel. Pemodelan polutan ini dilakukan menggunakan transducer temperatur yaitu termokopel yang dilengkapi dengan sensor pendeteksi panas fluida dengan tingkat akurasi pembacaan 0.1 °C, sehingga besarnya *initial dilution* pada daerah *centerline discharge* dapat dihitung. Menggunakan prinsip-prinsip analisa dimensi, akan diperoleh suatu persamaan empiris yang dapat diaplikasikan dalam penghitungan *initial dilution*.

Flowchart daripada prosedur penelitian secara umum digambarkan sebagai berikut:



Dari *flowchart* diatas dapat dijelaskan tahap-tahap prosedur penelitian sebagai berikut :

A. Set Geometri Dan Model Fisik Profil

Pada percobaan ini menggunakan jenis *outfall submerged single port discharge* pada kondisi air yang *uniform* dengan aliran arus lemah, dimana datanya adalah:

1. Data awal dari *Outfall* :

- Diameter *port/nozzle* : 7.5 mm
- Ketinggian dari dasar *flume tank* : 60 cm
- Kecepatan alir *effluent* : 5.59 – 12.58 cm/s
- Temperatur *effluent* : 40 – 70 °C

2. Data lingkungan :

- Kedalaman air : 80 cm
- Kecepatan arus : 0.22 – 3.36 cm/s
- Temperatur *receiving water* : 28.5 °C
- Kecepatan angin = 0 cm/s

B. Set Parameter Kondisi Awal dan Batas (*boundary condition*)

Beberapa percobaan ini dilakukan pada kondisi *buoyancy dominated* untuk *heated water jet* secara vertikal pada arus lemah. Parameter yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut :

1. Untuk memperkecil efek daripada momentum sumber maka besarnya bilangan *Froude* harus bernilai dibawah 4 (Lee dan Cheung, 1991), dimana:

$$F_o = \frac{u_o}{\sqrt{g'D}} < 4$$

2. Pada pemodelan ini, agar gerakan *effluent* didominasi oleh buoyansi sehingga pergerakannya menjadi suatu *plume* atau *smoke*, maka :

$$\frac{Z}{l_b} \ll 1 \quad \text{dan} \quad \frac{Z}{l_m} \gg 1$$

3. Untuk menstabilkan aliran *discharge* agar tidak terjadi gerakan resirkulasi maka :

$$\frac{H}{D} > 0,22F_0$$

C. Mengukur Kecepatan Effluent dan Lateral Ambient.

Setelah parameter dipenuhi maka dimulai *runing* percobaan dengan mengatur kecepatan effluen dan lateral ambient yang sesuai dengan data-data input. Disini yang perlu diperhatikan adalah arah lateral ambient (arus) berlawanan dengan effluen, *cross-flow*.

D. Menghitung Temperatur Excess (ΔT_j).

Dari kecepatan yang telah diatur sesuai dengan data-data input, kemudian dihitung temperatur excess yang terjadi.

E. Menghitung Initial Dilution (S).

Setelah data-data percobaan didapat maka akan dilakukan penghitungan initial dillution yang terjadi pada sudut port yang telah ditentukan.

F. Melakukan Perubahan Sudut dari Port.

Dilakukan ulang mulai langkah awal untuk sudut port yang berbeda.

G. Melakukan analisa hubungan regresi persamaan model fisik dengan model matematis.

Langkah ini tentu harus dilakukan sebagai kalibrasi dan validasi antara model fisik dengan model matematisnya.

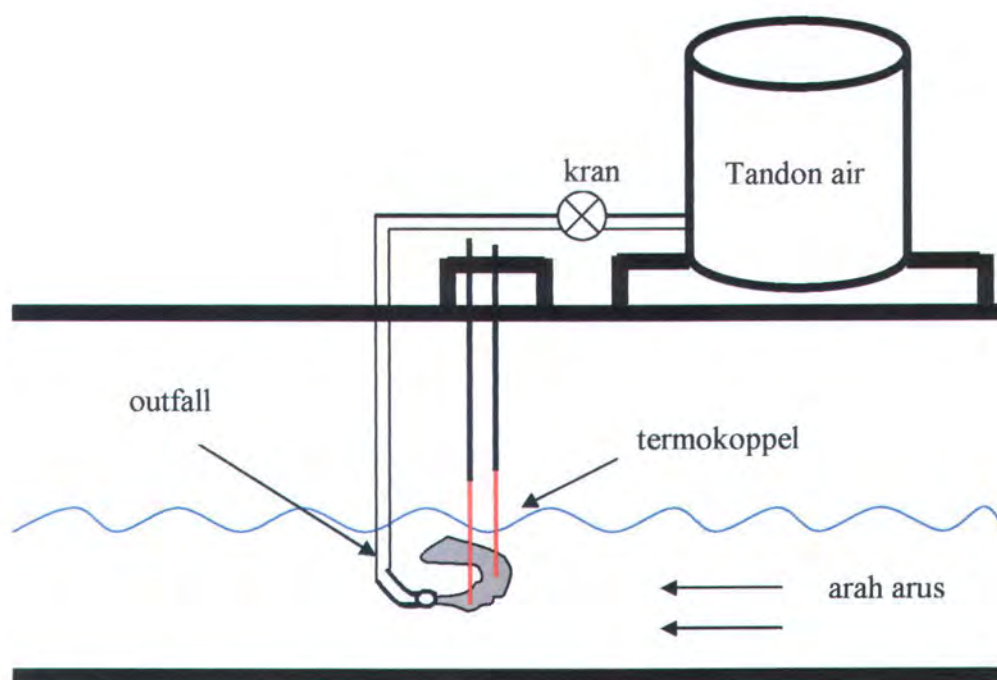
H. Melakukan perbandingan persamaan empiris antara arah arus *co-flow* dan *cross-flow*.

Disini akan dibandingkan hasil persamaan empiris dari percobaan dengan arus *co-flow* dan *cross-flow*. Hal ini perlu dilakukan untuk membandingkan dan diteliti apakah terjadi perbedaan ataupun persamaan antara *co-flow* dan *cross-flow*.

I. Kesimpulan

Dari hasil analisa data yang diperoleh pada percobaan yang telah dilakukan, maka akan dibuat suatu kesimpulan tentang pengaruh sudut *port* pada pemodelan fisik *ocean outfall* terhadap perilaku dari *buoyant plume* yang mengalami kenaikan sampai elevasi tertentu serta mendapatkan konstanta *initial dilution* menggunakan pendekatan metode analisa dimensi. Dari sini kemudian akan dilakukan perbandingan antara nilai dilusi pada effluen *cross-flow* dengan *co-flow*.

Skema percobaan *initial dilution* dengan *cross-flow* digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3.1 Skema kerja percobaan *outfall dilution*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut, Jurusan Teknik Kelautan-ITS, pada bulan Maret 2006.

3.3 Metode Percobaan

3.3.1 Alat-alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam percobaan adalah sebagai berikut:

A. *Flume tank*, *current generator* dan akuisisi data.

Spesifikasi untuk *flume tank* adalah sebagai berikut :

1. Material

- Dinding samping : *Toughened glass* dan *Mild steel* (SS400)
- Lantai dan dinding akhir : *Mild steel* (SS400)

2. Dimensi

- Badan utuh :
 - Panjang : 20.3 m
 - Lebar : 2.3 m
 - Tinggi : 2.5 m
- Bagian untuk pengukuran :
 - Panjang : 10.0 m
 - Lebar : 2.0 m
 - Tinggi : 1.5 m
 - Kedalaman air : 0.4 m

3. Jendela Observasi

- Panjang : 1.7 m
- Tinggi : 1.344 m
- Jumlah : 7 buah
- Material : *Toughned glass*



Gambar 3.2 Flume tank

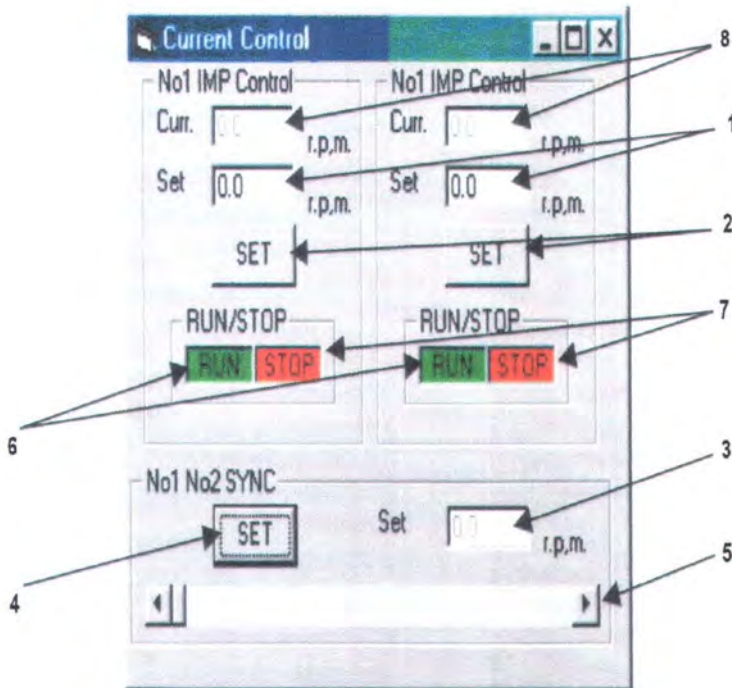
Spesifikasi untuk *current generator* adalah sebagai berikut :

1. Type : 2 set *impeller*
2. Diameter pipa : 340 mm
3. Performance :
 - *Velocity range* : 2.5 cm/s – 10 cm/s
 - *Velocity distribution* : $\pm 10\% \times 10$ cm/s
 - Posisi pengukuran : 2m dibawah *flow uniformer*
 - Akurasi pengukuran : $\pm 1\%$ untuk skala penuh
 - Respon dinamik : 5 Hz

Untuk membangkitkan arus, *current generator* dihubungkan dengan *control panel* (Gambar 3.3) dan diolah melalui komputer yang telah terintegrasi secara *interface*.



Gambar 3.3 Komputer Kontrol



Gambar 3.4 *Current generator control program*

Keterangan :

- 1 : *Setting R.P.M input column*
- 2 : *Change condition command button*
- 3 : *Synchronize R.P.M input column*
- 4 : *Synchronize condition change command button*
- 5 : *Synchronize R.P.M input slide bar*
- 6 : *Run command button*
- 7 : *Stop command button*

Spesifikasi *hardware* dan *software* yang digunakan untuk pengolahan data hasil pengukuran adalah sebagai berikut :

1. *Hardware*

- *Type* : *Desktop*
- *CPU* : *Pentium 266 MHz*
- *RAM* : *64 MB*

- *Hard Disk* : 3 GB
- *CRT* : 14 inch
- *Expanded slot* : dua
- *CD-ROM Drive* satu
- *Floppy disk drive* : 3.5 inch, 1.4 MB
- *Data Acquisition interface* : A/D board, 16 channel, 12 bit, 16 kHz, plus counter

2. Software

- Sistem *software* yang digunakan adalah MS-DOS Ver. 6.2 dan WINDOWS

95

B. Reservoir berukuran $D = 35$ cm dan $T = 50$ cm

C. Pipa PVC dengan ukuran diameter 1 in, dan panjang ± 20 m.

D. *Nozzle* dengan diameter luar 7.5 mm yang diletakkan di tengah *flume tank*.

E. Sensor panas, seperti *termalvision*, *termocouple* dengan pembacaan sistem digital.

F. *Heater*

G. *Current meter*

H. Larutan *fluorescein* yaitu *Naftol* sebagai *effluent*.

3.3.2 Prosedur Percobaan Initial Dilution

Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan percobaan ini adalah sebagai berikut :

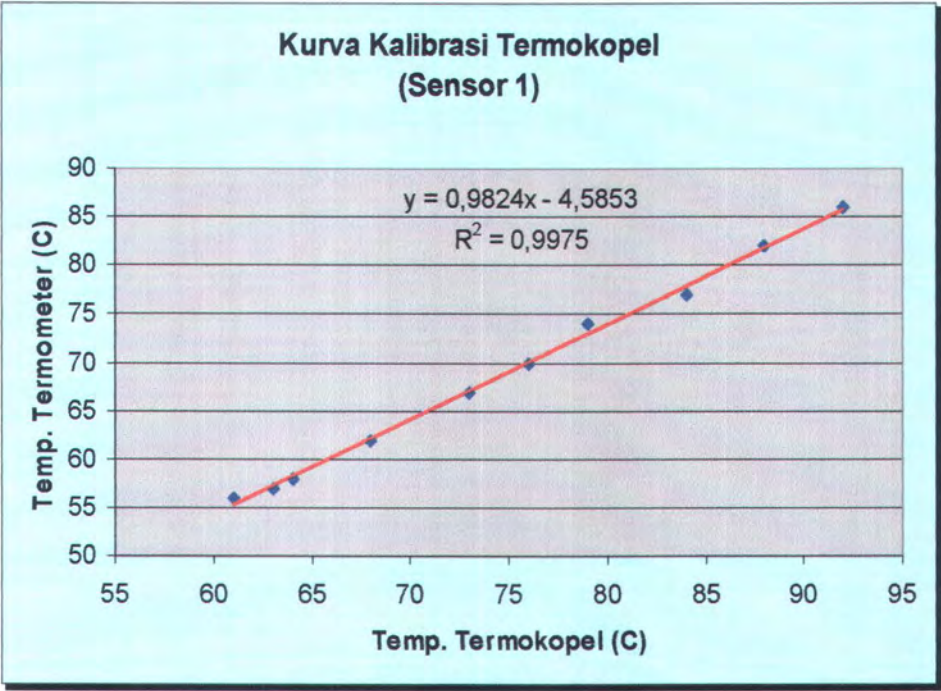
- Flume tank* diisi dengan air tawar dengan kedalaman 80 cm.
- Memasang *nozzle* dengan diameter 7.5 mm secara vertikal ditengah-tengah dari *flume tank* menghadap arah arus (*cross-flow*) dengan ketinggian 60 cm dari dasar.
- Effluen dialirkan dari reservoir yang telah dilengkapi dengan heater/pemanas melalui pipa sehingga air keluar melalui *nozzle* mempunyai suhu awal (T_0) $50 - 70^\circ\text{C}$ diatas suhu *ambient*.
- Kedalaman air dalam *flume tank* selalu dijaga 80 cm kedalamannya untuk seluruh percobaan, agar memberikan kenaikan *plume* yang bebas dari efek permukaan.

- e. Mencatat temperatur effluen sepanjang *centerline jet* dan *plume* pada arah x, y, z secara transversal dan longitudinal menggunakan alat sensor panas *termocouple* saat terjadi dilusi.
- f. Memvisualisasikan aliran dari proses pencampuran effluen dengan *ambient* (*mixing process*) dan dilusi menggunakan kamera digital sehingga perubahan warna effluen yang terjadi juga dapat teramati.
- g. Melakukan kembali percobaan diatas dengan menggunakan orientasi sudut *nozzle* yang berbeda yaitu 30°, 45°, 60° terhadap arah arus.
- h. Menginterpretasikan dan menganalisa data yang diperoleh.

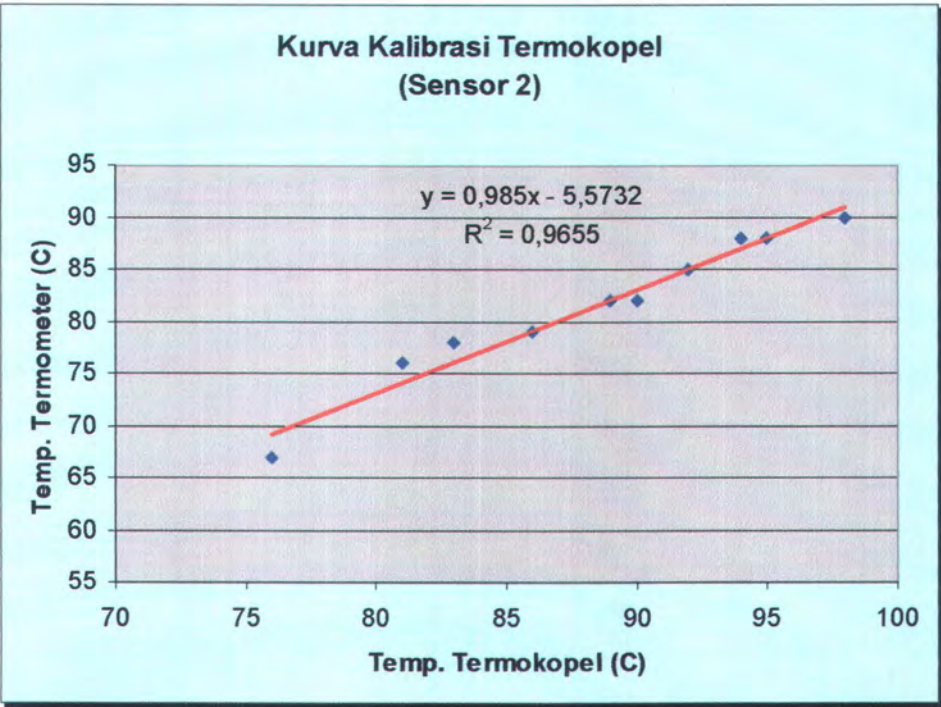
3.4 Kalibrasi Termokopel

Kalibrasi merupakan suatu pengontrolan dan pencocokan skala bacaan suatu alat ukur yang digunakan untuk pengukuran dengan suatu alat standar kalibrasi. Untuk mendapatkan keseksamaan yang tinggi pada proses pengamatan dan pengambilan data percobaan, maka perlu adanya suatu kalibrasi terhadap instrumen yang digunakan, yaitu penggunaan termokopel dan alat ukur arus (*current meter*).

Kalibrasi *tranducer temperatur* (termokopel) dilakukan dengan menggunakan termometer raksa, untuk mengetahui apakah temperatur yang terdeteksi oleh sensor panas sama dengan temperatur yang terdeteksi oleh air raksa. Berikut adalah hasil kalibrasi termokopel dengan termometer untuk 2 sensor yang digunakan dalam percobaan :



Gambar 3.5 Kurva Kalibrasi Termokopel (Sensor 1)



Gambar 3.6 Kurva Kalibrasi Termokopel (Sensor 2)

3.4 Metode Analisa Data Percobaan

Metode yang digunakan untuk memodelkan *initial dilution* pada percobaan adalah dengan metode π -*Buckingham*, dimana langkah-langkah penyelesaiannya adalah sebagai berikut :

- 1. Merepresentasikan jumlah total variabel (n) yang mengkarakteristikan model *initial dilution*.

$$S = f(Q, M, B, z)$$

- 2. List dimensi primer tiap variabel (M, L, T, θ)

- Variabel ini memiliki unit :

$$\begin{aligned} S &= \text{tidak berdimensi, } \pi & B &= L^4 T^{-3} \\ Q &= L^3 T^{-1} & z &= L \\ M &= L^4 T^{-2} \end{aligned}$$

- 3. Menghitung jumlah dimensi primernya, $j = 2$
- 4. Menghitung bilangan non dimensi yang bisa dibentuk, dimana :

$$K = n - j = 5 - 2 = 3 \ (\pi_1, \pi_2, \pi_3)$$

- 5. Memilih sejumlah j variabel sebagai *repeating* variabel, dengan syarat :
 - Variabel yang terpilih mewakili seluruh dimensi sistem yang ditinjau
 - Variabel yang terpilih tidak boleh membentuk non-dimensi dengan sendirinya

Misal : $\pi_1 = f(z, Q, S)$
 $\pi_2 = f(z, Q, M)$
 $\pi_3 = f(z, Q, B)$

- 6. Membentuk perkalian berpangkat antara sejumlah j variabel tersebut diatas dengan masing-masing sisa dari K variabel dan kemudian menetapkan pangkat = 0.

$$\pi_1 = f(D, u_a, S)$$

$$\pi_1 = L^a (L^3 T^{-1})^b$$

$$L = a + 3b + 0 = 0 ; a + 3b = 0$$

$$T = -b = 0 ; b = 0 ; a = 0$$

$$\pi_1 = S$$

$$\pi_2 = f(D, u_a, M.)$$

$$\pi_2 = L^a (L^3 T^{-1})^b L^4 T^{-2}$$

$$L = a + 3b + 4 = 0 ; a + 3b = -4$$

$$T = -b - 2 = 0 ; b = -2; a = 2$$

$$\pi_2 = \frac{M z^2}{Q^2} ; \pi_2 = \frac{z}{l_b}$$

$$\pi_3 = f(D, u_a, B.)$$

$$\pi_4 = L^a (L^3 T^{-1})^b L^4 T^{-3}$$

$$L = a + 3b + 4 = 0 ; a + 3b = -4$$

$$T = -b - 3 = 0 ; b = -3 ; a = 5$$

$$\pi_3 = \frac{B z^5}{Q^3} ; \left(\frac{1}{\pi_3} \right)^3 = \frac{Q}{B^{1/3} z^{5/3}}$$

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3)$$

$$S = \left(\frac{z}{l_b}, \frac{Q}{B^{1/3} z^{5/3}} \right)$$

Model *initial dilution* dilusi yang telah diperoleh dengan menggunakan analisa dimensi digunakan sebagai parameter awal untuk mendapatkan suatu persamaan *initial dilution*. Analisa selanjutnya adalah menggunakan metode regresi linier, untuk mencocokkan garis-garis regresi dengan data sampel yang teramati sehingga diperoleh suatu kesimpulan parametrik yang tepat. Nilai konstanta *initial dilution* yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai konstanta *initial dilution* yang diperoleh Pribadi (2005) dengan memasukkan data-data input yang sama sesuai dengan percobaan.

*"Hai orang-orang beriman apabila dikatakan kepadamu:
"Berlapang-lapanglah dalam majlis", maka
lapangkanlah niscaya Allah akan memberi kelapangan
untukmu. Dan apabila dikatakan: "Berdirilah kamu",
maka berdirilah, niscaya Allah akan meninggikan orang-
orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang
diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah
Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan"
(Q. S. Al-Mujaadilah: 11)*



BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Kalibrasi Percobaan *Initial dilution* Limbah Panas *Cross-Flow*.

Sebelum melakukan *runing* percobaan *initial dilution* untuk arah arus *cross-flow* terlebih dahulu dilakukan kalibrasi percobaan, dimana kalibrasi yang dilakukan adalah berdasarkan data-data parameter percobaan sebelumnya, dengan membandingkan data hasil pengukuran dari model yang telah dibuat dengan hasil pengukuran model eksperimen Lee & Cheung (1991). Lee & Cheung (1991) melakukan pengukuran *dilution* menggunakan model *outfall* dengan *port* atau *nozzle* mengarah vertikal membentuk sudut 90° terhadap arah arus *ambient*, pada zona *buoyancy dominated near field* (BDNF) dan *buoyancy dominated far field* (BDFF). Harga *initial dilution* ditentukan dari temperatur *excess* ($T-T_a$) sepanjang arah longitudinal lintasan *plume* dengan dipengaruhi oleh arus yang lemah, kecepatan *discharge* (u_d), *flow rate* (Q), serta jarak vertical port ke titik pengukuran di *centerline* (z).

Pengukuran *dilution* pada percobaan ini menggunakan model *outfall buoyant jet* dengan parameter awal pendesainan yang sesuai percobaan Lee & Cheung (1991), dimana model *outfall buoyant jet* ini memiliki diameter *port* 0.75 cm di tempatkan pada kedalaman 10D cm dari permukaan air flume tank yang memiliki kedalaman (H) 40 cm. Polutan atau *effluent* dimodelkan dari *fresh water* yang dicampur dengan larutan *fluorescein* yaitu *Naftol* dengan *range* $40-60^\circ\text{C}$ yang dikeluarkan dari *port*.

Pada kalibrasi ini dilakukan percobaan sebanyak 30 kali dengan melakukan pengukuran terhadap temperatur (T) proses pelarutan dan pencampuran *discharge* sepanjang lintasan *plume* dan mengambil parameter awal pendesainan yang sesuai untuk tiap-tiap kecepatan arus (u_a), kecepatan *discharge* (u_d) dan temperatur *discharge* (T_d) oleh percobaan Lee & Cheung (1991). Kemudian didapatkan data percobaan hasil kalibrasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data hasil kalibrasi percobaan di laboratorium

Run No	Discharge Temperature (°C)	Temperatur Excess (T) Lee & Cheung (°C)	Temperatur Excess (T) perc. (°C)	Dilusi Percobaan	Dilusi Lee & Cheung	Perbedaan (%)
1	56,5	35	34,9	4,375	4,308	1,56
2	58	36,6	36	3,933	3,642	8,00
3	55	33,1	32,8	6,163	5,761	6,98
4	58,8	37,4	37,1	3,523	3,404	3,49
5	56,8	35,2	35,1	4,288	4,224	1,52
6	59,1	36,8	36,5	3,825	3,687	3,75
7	59	35,6	35,1	4,621	4,296	7,58
8	61,8	40,8	40,3	2,822	2,707	4,24
9	61,2	40,2	40,4	2,748	2,795	1,68
10	60,9	39,8	39,2	3,028	2,867	5,61
11	61,6	31,9	31,5	11,033	9,735	13,33
12	60,1	38,8	38	3,326	3,068	8,42
13	59,3	37,8	37,4	3,461	3,312	4,49
14	61,3	33,7	33,5	6,560	6,308	4,00
15	60,4	32,3	32,3	8,395	8,395	0,00
16	58,2	35,6	34,8	4,714	4,183	12,70
17	56,3	33,6	33,1	6,043	5,451	10,87
18	60,5	32,9	33,1	6,957	7,273	4,35
19	58,4	31,7	31,2	11,074	9,344	18,52
20	62,8	32,5	31,8	10,394	8,575	21,21
21	63,8	32,6	32,2	9,541	8,610	10,81
22	64,1	32,1	32,7	8,476	9,889	14,29
23	63,2	30,4	30,2	20,412	18,263	11,76
24	61,6	31,1	31,6	10,677	12,731	16,13
25	60,4	30,6	30,2	18,765	15,190	23,53
26	63,9	34,3	33,3	7,375	6,103	20,83
27	66,2	35,8	36,1	4,961	5,164	3,95
28	64,2	33,3	33,7	6,865	7,438	7,69
29	61,4	35,7	37,3	3,739	4,569	18,18
30	60,9	36,2	36,1	4,263	4,208	1,32

Dari tabel diatas dapat dilihat hasil perbandingan penghitungan *initial dilution* antara eksperimen yang dilakukan Lee & Cheung dengan percobaan yang dilakukan. Dari tabel diatas kemudian didapat perbedaan (%) rata-rata nilai *initial dilution* antara eksperimen yang dilakukan Lee & Cheung dengan percobaan adalah $\%perbedaan = ((S_{Lee} - S_{perc.})/S_{Lee}) \times 100\%$ sebesar 9.03 %.

Untuk membuktikan bahwa data pengukuran di laboratorium memiliki kedekatan hasil yang homogen dengan data percobaan sebelumnya yaitu eksperimen Lee & Cheung (1991) perlu dilakukan pengujian hipotesa (uji-T). Uji-T dilakukan dengan menggunakan software SPSS 14 dan didapatkan hasil $t_{hitung} = 1.871$ dengan nilai korelasi R^2 , sebesar 0.975.

Pengujian hipotesa untuk homogenitas dua data yang berpasangan (Supranto, 2001):

H_0 = dua data yang berpasangan homogen

H_1 = dua data yang berpasangan tidak homogen

Statistik : $t_{hitung} \sim t_{tabel}$

Daerah penolakan : tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$

$$t_{hitung} = 1.871$$

$$t_{tabel} (v = 28; \alpha = 0.025) = 2.0484 \text{ (table distribusi t)}$$

Keputusan : $t_{hitung} > t_{tabel}$

gagal tolak H_0 atau terima H_0

Berdasarkan hasil pengujian, berarti kedua data yaitu *dillution* hasil pengukuran model percobaan di laboratorium dengan *dillution* Lee-Cheung adalah bersifat homogen. Dengan demikian model yang dibuat dapat dilanjutkan untuk percobaan dengan modifikasi-modifikasi yang akan dilakukan, yaitu menggunakan *port* yang membentuk sudut terhadap arah arus.

4.2 Pemodelan Initial Dilution Arah Arus Cross-Flow Di Laboratorium.

Sesuai dengan parameter yang harus dipenuhi pada kondisi *buoyancy dominated* untuk *heated water jet*, untuk memperkecil efek daripada momentum sumber maka besarnya bilangan *Froude* harus bernilai dibawah 4 (Lee dan Cheung, 1991), dimana

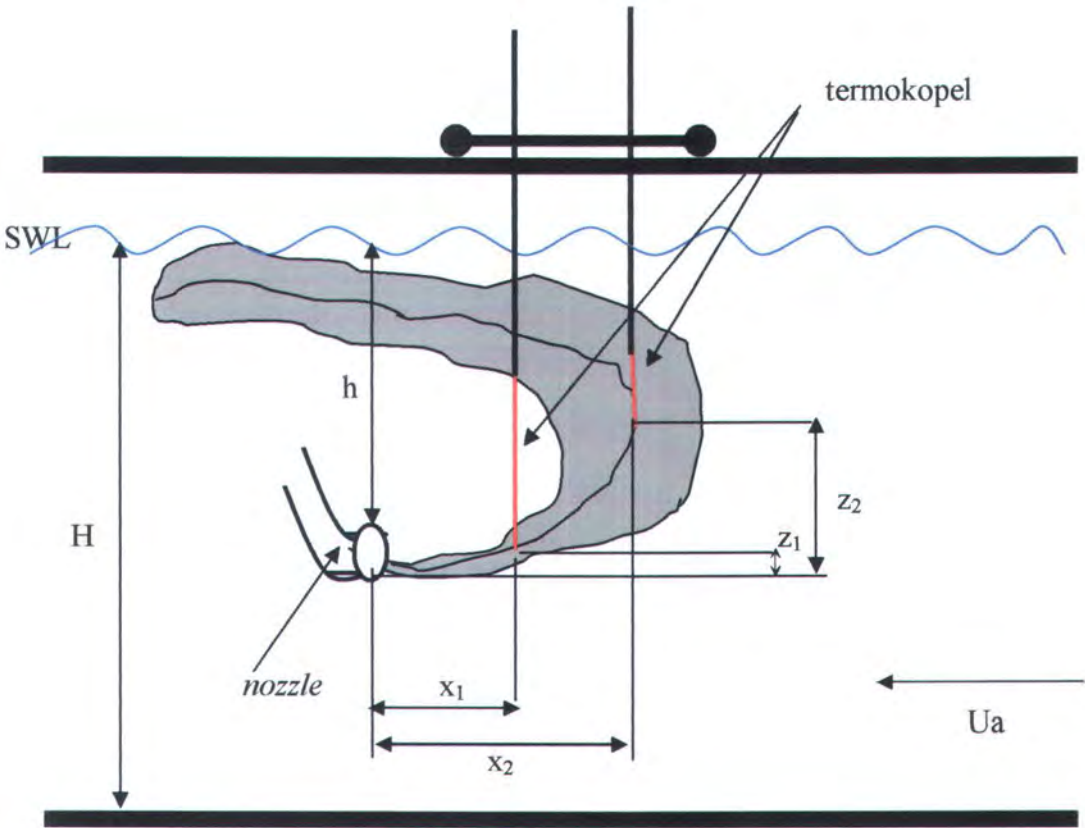
$$F_o = \frac{u_o}{\sqrt{g'D}} < 4. \text{ Disamping itu, pada pemodelan ini, agar gerakan effluent}$$

didominasi oleh *buoyancy* sehingga pergerakannya menjadi suatu *plume* atau *smoke*,

$$\text{maka nilai } \frac{Z}{l_b} \ll 1 \text{ dan } \frac{Z}{l_m} \gg 1. \text{ Tipikal representasi dari buoyant-jet negative}$$

percobaan dalam arus dengan parameter yang harus sipenuhi akan terlihat seperti

pada Gambar 4.1. Hasil penghitungan parameter kondisi awal dan batas yang harus dipenuhi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.



Gambar 4.1 Tipikal representasi dari *buoyant-jet negative* percobaan dalam arus

- Keterangan gambar:
- H = kedalaman air, 80 cm.
 - h = kedalaman *nozzle*, 20 cm.
 - x_1 = jarak *nozzle* horisontal ke sensor 1 (*centerline*), 3 cm.
 - x_2 = jarak *nozzle* horisontal ke sensor 2 (*centerline*), 7 cm.
 - z_1 = jarak *nozzle* vertikal ke sensor 1 (*centerline*).
 - z_2 = jarak *nozzle* vertikal ke sensor 2 (*centerline*).
 - U_a = arus *ambient*.

Tabel 4.2 Data parameter kondisi awal dan batas yang harus dipenuhi

Uj (m/s)	Q	M	B	l_m	l_b	Z/l_m	Z/l_b
0.0559	2.468E-06	1.380E-07	2.804E-07	0.071	1.994	2.800	0.100
0.0577	2.548E-06	1.470E-07	3.083E-07	0.049	0.625	4.121	0.320
0.0557	2.460E-06	1.370E-07	2.613E-07	0.038	0.286	5.241	0.699
0.065	2.870E-06	1.866E-07	3.585E-07	0.154	16.333	1.297	0.012
0.0661	2.919E-06	1.929E-07	3.359E-07	0.200	31.546	1.002	0.006
0.1057	4.667E-06	4.933E-07	5.899E-07	0.219	18.003	1.911	0.011
0.1075	4.747E-06	5.103E-07	5.976E-07	0.062	0.393	3.220	0.509
0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.965E-07	0.376	130.700	2.532	0.002
0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.825E-07	0.325	82.876	1.616	0.002
0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.755E-07	0.238	32.425	1.840	0.006
0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.918E-07	0.238	33.030	1.840	0.006
0.0971	4.288E-06	4.163E-07	7.739E-07	0.113	4.179	1.767	0.048
0.0867	3.828E-06	3.319E-07	4.877E-07	0.083	1.484	2.395	0.135
0.0969	4.279E-06	4.146E-07	7.976E-07	0.087	1.968	2.298	0.102
0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.638E-07	0.071	0.864	2.800	0.232
0.0792	3.497E-06	2.770E-07	4.266E-07	0.054	0.453	3.724	0.441
0.0736	3.250E-06	2.392E-07	3.660E-07	0.041	0.217	4.866	0.921
0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.661E-07	0.140	6.529	1.428	0.031
0.0563	2.486E-06	1.400E-07	3.057E-07	0.022	0.063	9.035	0.158
0.11	4.857E-06	5.343E-07	9.412E-07	0.064	0.619	3.147	0.323
0.11	4.857E-06	5.343E-07	9.651E-07	0.047	0.259	4.241	0.772
0.11	4.857E-06	5.343E-07	9.723E-07	0.040	0.156	5.035	0.281
0.11	4.857E-06	5.343E-07	9.508E-07	0.073	0.951	2.736	0.210
0.0838	3.700E-06	3.101E-07	6.952E-07	0.027	0.076	7.506	0.626
0.0657	2.901E-06	1.906E-07	5.279E-07	0.019	0.041	10.720	0.854
0.1258	5.555E-06	6.988E-07	1.106E-06	0.067	0.580	2.967	0.345
0.1258	5.555E-06	6.988E-07	1.169E-06	0.059	0.417	3.373	0.479
0.1258	5.555E-06	6.988E-07	1.115E-06	0.052	0.262	3.876	0.763
0.1094	4.831E-06	5.285E-07	9.028E-07	0.036	0.113	5.502	0.772
0.083	3.665E-06	3.042E-07	6.759E-07	0.023	0.047	8.812	0.246

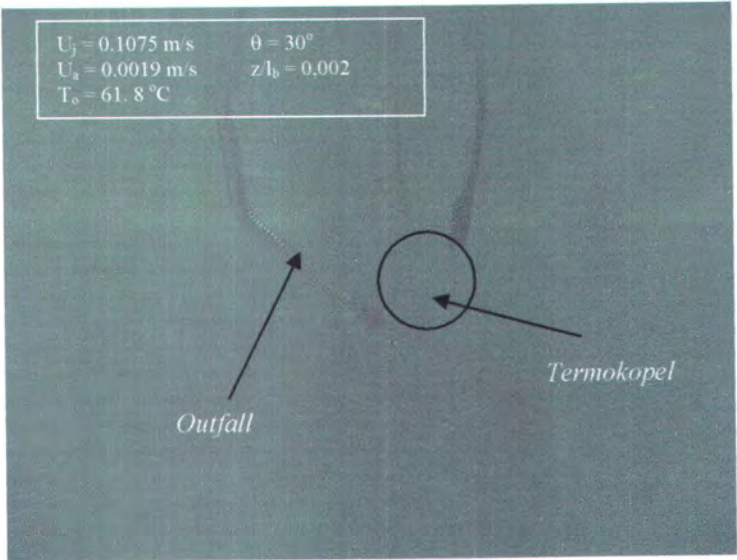
Kestabilan dari *discharge* dipenuhi dari harga $\frac{H}{D} > 0.22F_o$, dan dengan membuat geometri awal serta kondisi batas yang ditentukan maka kestabilan *discharge* dari 30 kali percobaan ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data parameter kestabilan *discharge* hasil percobaan

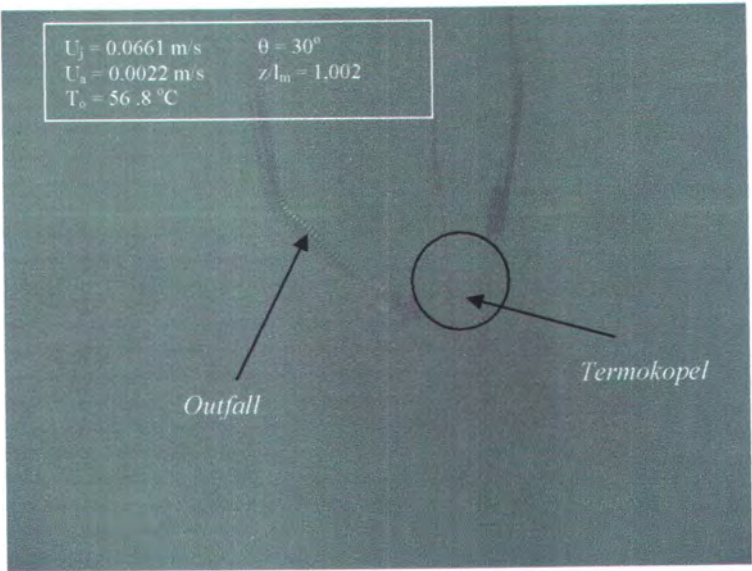
Run No	Discharge Temperature (°C)	Ua (m/s)	Perbedaan Densitas Relatif (($r_a - r_d$)/ r_a)	F _o	H/DF _o
1	56.5	0.0052	0.012	0.178	598.777
2	58	0.0079	0.012	0.262	406.727
3	55	0.0097	0.011	0.344	310.397
4	58.8	0.0028	0.013	0.091	1166.061
5	56.8	0.0022	0.012	0.075	1424.451
6	59.1	0.0032	0.013	0.104	1026.311
7	59	0.0115	0.013	0.374	285.026
8	61.8	0.0019	0.019	0.050	2112.878
9	61.2	0.0022	0.019	0.059	1810.446
10	60.9	0.003	0.019	0.081	1322.381
11	61.6	0.003	0.019	0.080	1334.666
12	60.1	0.0057	0.018	0.155	688.526
13	59.3	0.0069	0.013	0.223	477.819
14	61.3	0.0074	0.019	0.198	538.952
15	60.4	0.01	0.019	0.271	394.061
16	58.2	0.0098	0.012	0.324	329.202
17	56.3	0.0119	0.011	0.409	260.515
18	60.5	0.0051	0.019	0.138	773.712
19	58.4	0.0169	0.013	0.557	191.666
20	62.8	0.0115	0.020	0.302	353.600
21	63.8	0.0155	0.020	0.402	265.657
22	64.1	0.0184	0.020	0.475	224.617
23	63.2	0.01	0.020	0.261	408.699
24	61.6	0.0209	0.019	0.557	191.579
25	60.4	0.0234	0.019	0.633	168.402
26	63.9	0.0124	0.020	0.321	332.482
27	66.2	0.0141	0.021	0.355	300.583
28	64.2	0.0162	0.020	0.418	255.433
29	61.4	0.02	0.019	0.534	199.675
30	60.9	0.0243	0.019	0.653	163.257

Dari hasil penghitungan parameter kondisi awal dan batas yang harus dipenuhi dari ke-30 percobaan, didapat untuk nilai terkecil dari $\frac{Z}{l_b}$ adalah 0.002 pada $U_j = 0.1075$ m/s, $T_d = 61.8$ °C, $U_a = 0.0019$ m/s dan nilai terkecil dari $\frac{Z}{l_m}$ adalah 1.002 pada $U_j = 0.0661$ m/s, $T_d = 56.8$ °C, $U_a = 0.0022$ m/s. Hasil ini menunjukkan bahwa *effluent*

pada percobaan ini didominasi oleh *buoyancy* sehingga pergerakan dari *effluent* yang terjadi adalah membentuk suatu *plume* atau *smoke*.



Gambar 4.2 Percobaan dengan z/l_b dan kestabilan *discharge* kecil



Gambar 4.3 Percobaan dengan z/l_m kecil

Untuk besarnya bilangan *Froude* yang terkecil adalah 0.050 pada $U_j = 0.1075 \text{ m/s}$, $T_o = 61.8^\circ\text{C}$, $U_a = 0.0019 \text{ m/s}$, ini menunjukkan bahwa efek daripada momentum sumber adalah kecil karena nilai $0.050 < 4$. Aliran *discharge* pada percobaan ini

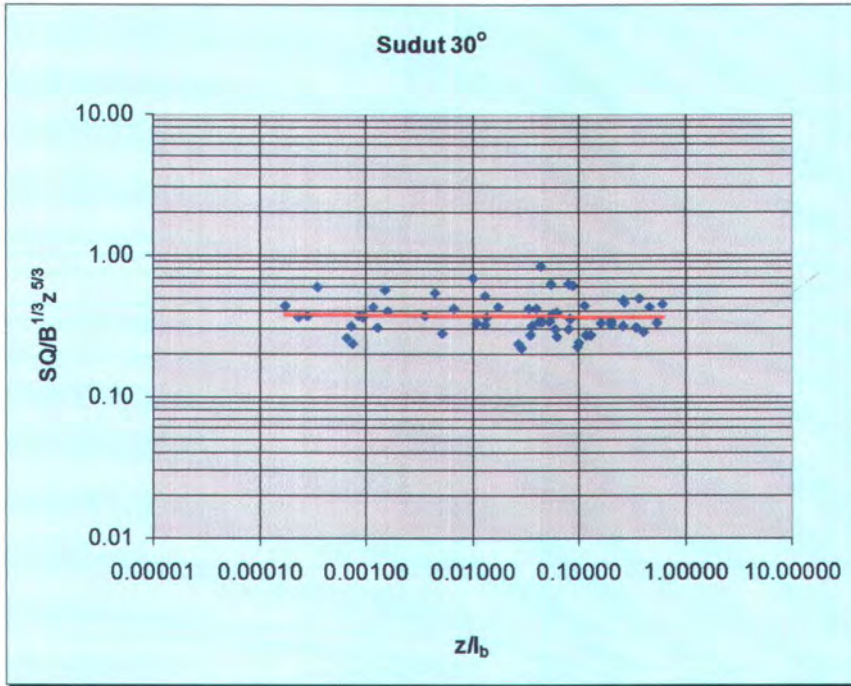
stabil sehingga tidak terjadi gerakan resirkulasi, ini ditunjukkan dari nilai terkecil untuk $\frac{H}{DF_o}$ adalah 163.257 pada $U_j = 0.0661 \text{ m/s}$, $T_d = 56.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $U_a = 0.0022 \text{ m/s}$, dimana nilai terkecil $\frac{H}{DF_o}$ ini adalah lebih dari 0.22.

4.3 Hasil Pemodelan *Initial Dilution* Menggunakan Analisa Dimensi.

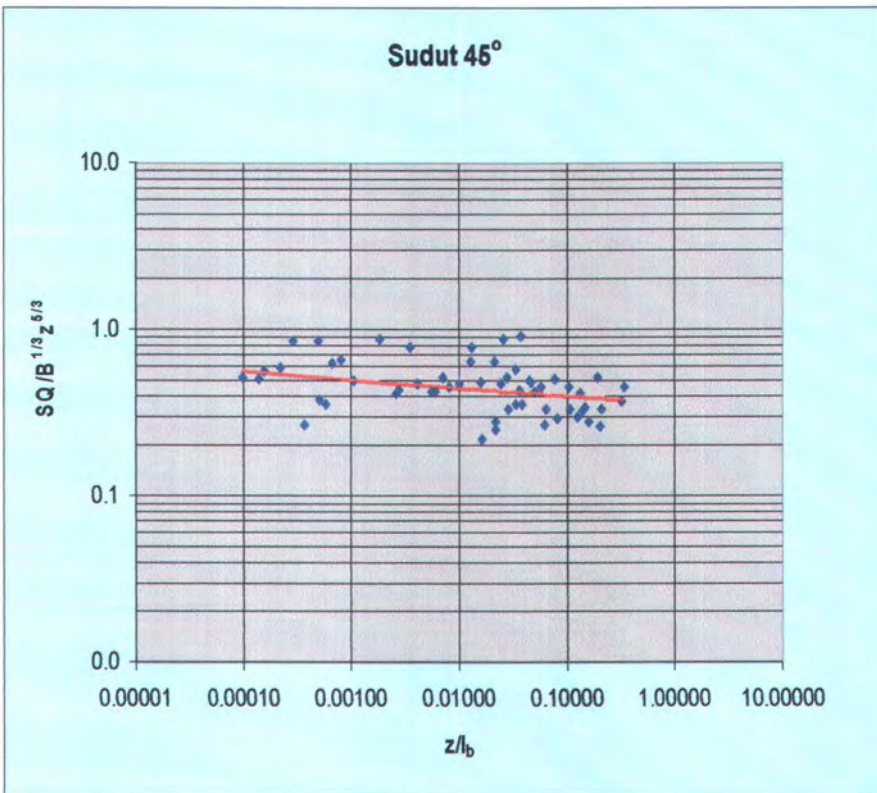
Pada Gambar 4.4, 4.5 dan 4.6 dapat dilihat bahwa data *initial dilution* ditentukan pada $z/l_b < 1$, yang mana gerakan *discharge* berada pada zona *buoyancy dominated near field* (BDNF). Gambar 4.4, 4.5 dan 4.6 dibawah menunjukkan bahwa bilangan tak berdimensi dilusi diperoleh dari perekaman temperatur *excess* sepanjang sumbu *plume* longitudinal, dan perhitungannya sesuai dengan Persamaan 2.2 diatas. *Initial dilution* dirumuskan secara empiris berdasarkan Persamaan 2.17 yang telah diperoleh sebelumnya oleh Lee & Cheung (1991), dan diplotkan dengan bilangan tak berdimensi z/l_b .

Dan dapat dilihat data *initial dilution* pada zona BDNF, dimana $z/l_b \ll 1$, untuk sudut *port* 30° , 45° dan 60° diperoleh masing-masing nilai C_1 , C_2 , C_3 berturut-turut adalah 0.3653, 0.3938 dan 0.5758. Ketiga nilai tersebut dibandingkan dengan percobaan yang dilakukan oleh Pribadi (2005) dengan sudut 30° , 45° dan 60° , yang menghasilkan model persamaan empiris *initial dilution* $(SQ)/(B^{1/3} z^{5/3}) \sim (z/l_b)$ dengan konstanta dilusi berturut-turut adalah 0.0130, 0.0301 dan 0.0664 pada zona BDNF untuk $z/l_b < 1$.

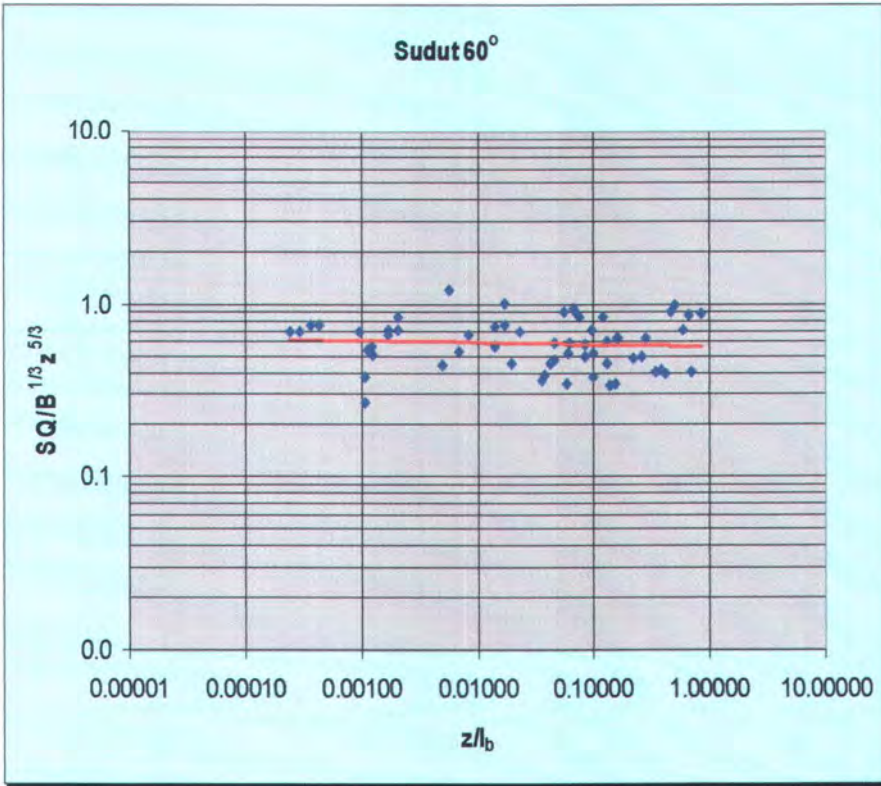
Untuk zona BDFF dimana $z/l_b > 1$, dari percobaan yang dilakukan tidak terekam, tetapi didapatkan ketinggian *plume* dari port z_t berbalik arah akibat adanya arus *cross-flow* yang dibahas pada sub-bab berikutnya.



Gambar 4.4 Grafik $SQ/B^{1/3} z^{5/3}$ vs z/l_b pada sudut 30°



Gambar 4.5 Grafik $SQ/B^{1/3} z^{5/3}$ vs z/l_b pada sudut 45°



Gambar 4.6 Grafik $SQ/B^{1/3} z^{5/3}$ vs z/l_b pada sudut 60°

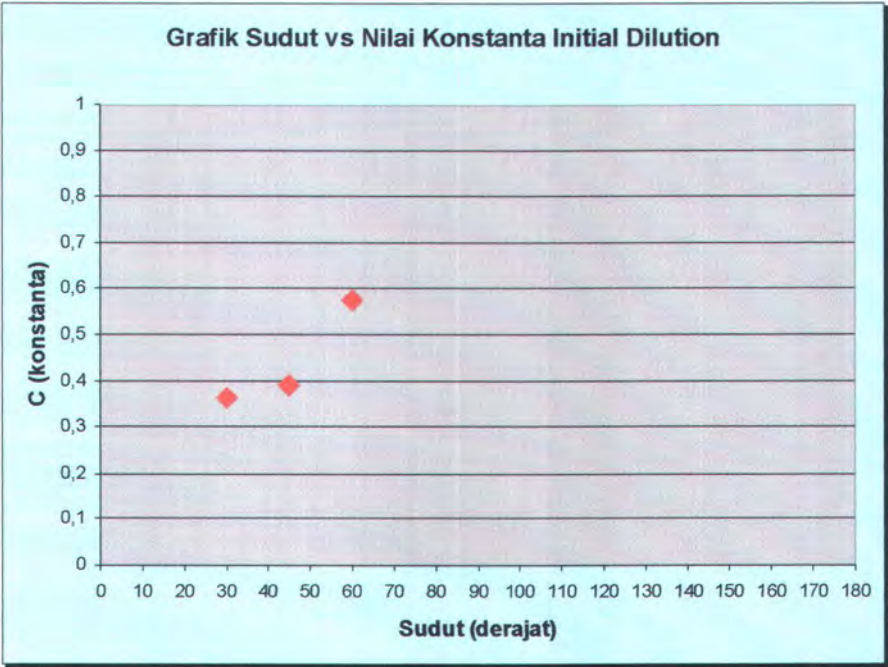
Nilai konstanta *initial dilution* tersebut lebih kecil untuk zona BDNF karena *turbulent plume* menunjukkan gerakan yang berbeda, yaitu membentuk gerakan *negative buoyant* dimana arah momentum berlawanan dengan arah buoyansi. Pada gerakan ini, *effluent* bergerak kebawah dan memberikan *initial momentum* karena pengaruh tekanan gravitasi dan pada kedalaman tertentu akan mengalami pembelokan atau tekukan (*falling back*) menuju permukaan air.

Adanya inklinasi pada *port* yang membentuk sudut 30° , 45° dan 60° terhadap arah arus maka jet akan bergerak sepanjang lintasan kemiringan, momentum dari fluks akan berkurang sebanding dengan arah gerak berlawanan dari buoyansi yang besarnya adalah konstan sepanjang lintasan. Hal ini sesuai dengan observasi yang dilakukan oleh Baines (1990).

Tabel 4.4 Nilai konstanta *initial dilution* pada percobaan menggunakan variasi sudut *port* yang berbeda pada zona BDNF

Inklinasi <i>port</i> (θ)	Hubungan <i>dilution plume</i>	Nilai konstanta <i>initial dilution</i> (C)	Range dari parameter <i>buoyancy</i>
30°	$\frac{SQ}{B^{1/3} z^{5/3}} = C_1 \frac{z}{l_b}$	0.3653	$z/l_b < 1$
45°	$\frac{SQ}{B^{1/3} z^{5/3}} = C_3 \frac{z}{l_b}$	0.3938	$z/l_b < 1$
60°	$\frac{SQ}{B^{1/3} z^{5/3}} = C_5 \frac{z}{l_b}$	0.5758	$z/l_b < 1$

Dari Tabel 4.4 dapat diketahui bahwa nilai konstanta *initial dilution* pada sudut *port* 30°, 45° dan 60° menunjukkan tren positif. Ini berarti bahwa semakin besar sudut *port* terhadap arah horisontal arus *cross-flow* maka semakin besar nilai *initial dilution* yang terjadi. Sebaliknya, semakin kecil sudut *port* terhadap arah horisontal arus *cross-flow* maka semakin kecil nilai *initial dilution* yang terjadi. Grafik hubungannya seperti terlihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik hubungan besar sudut dengan nilai konstanta *initial dilution*

Nilai konstanta *initial dilution* pada arus *cross-flow* untuk sudut *port* 30°, 45° dan 60° yang dihasilkan dari percobaan ini dibandingkan dengan nilai konstanta *initial dilution* pada arus *co-flow* yang dihasilkan dari percobaan yang dilakukan Pribadi (2005) adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5 Perbandingan nilai konstanta *initial dilution* pada arus *cross-flow* dan *co-flow*

Inklinasi <i>port</i> (θ)	Hubungan <i>dilution</i> <i>plume</i>	Nilai konstanta <i>initial dilution</i> Cross-flow (C)	Nilai konstanta <i>initial dilution</i> Co-flow (C)
30°	$\frac{SQ}{B^{1/3} z^{5/3}} = C_1 \frac{z}{l_b}$	0.3653	0.0130
45°	$\frac{SQ}{B^{1/3} z^{5/3}} = C_3 \frac{z}{l_b}$	0.3938	0.0301
60°	$\frac{SQ}{B^{1/3} z^{5/3}} = C_5 \frac{z}{l_b}$	0.5758	0.0664

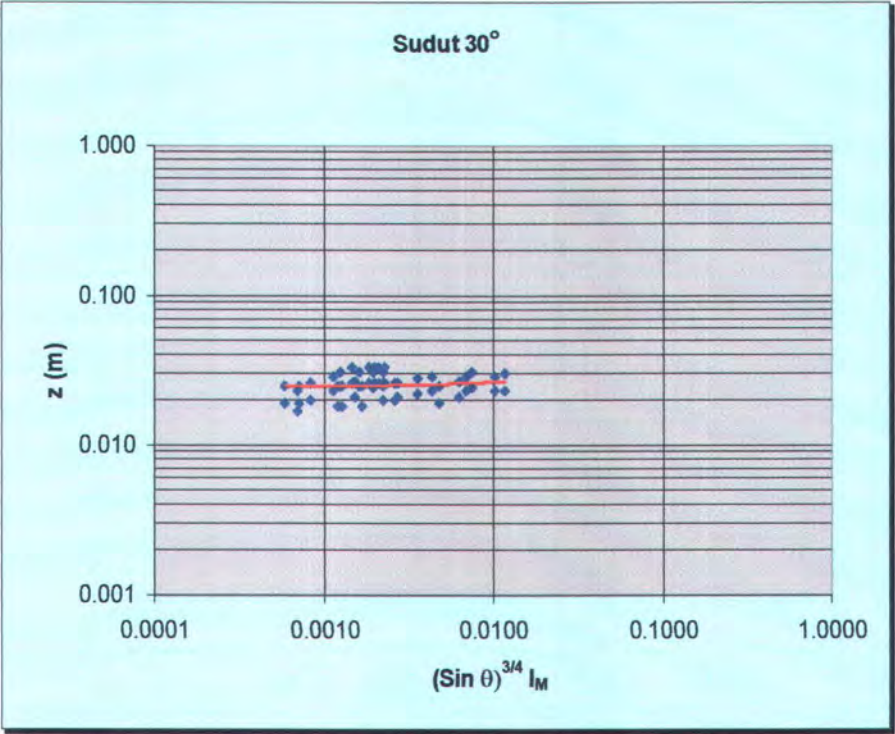
Dari perbandingan tersebut diketahui bahwa *effluent* yang dibuang pada arus *cross-flow* memberikan nilai dilusi yang lebih besar daripada *effluent* yang dibuang pada arus *co-flow*. Hal ini bisa terjadi karena gerakan *rising buoyant jet* dengan adanya arus yang berlawanan dengan pembuangan polutan limbah cair, membuat pengenceran yang terjadi lebih cepat bila dibandingkan dengan adanya arus yang searah dengan pembuangan polutan limbah cair. Cepat tidaknya pengenceran ditentukan oleh perbandingan konsentrasi dari polutan limbah cair pada saat dibuang dengan konsentrasinya saat berada pada level kesetimbangan atau juga dapat ditentukan oleh perbandingan temperatur polutan limbah cair pada saat dibuang dengan temperatur saat berada pada level kesetimbangan.

4.4 Evaluasi Pengaruh Sudut *Port* Terhadap Tinggi Maksimum *Plume* Berbalik Arah.

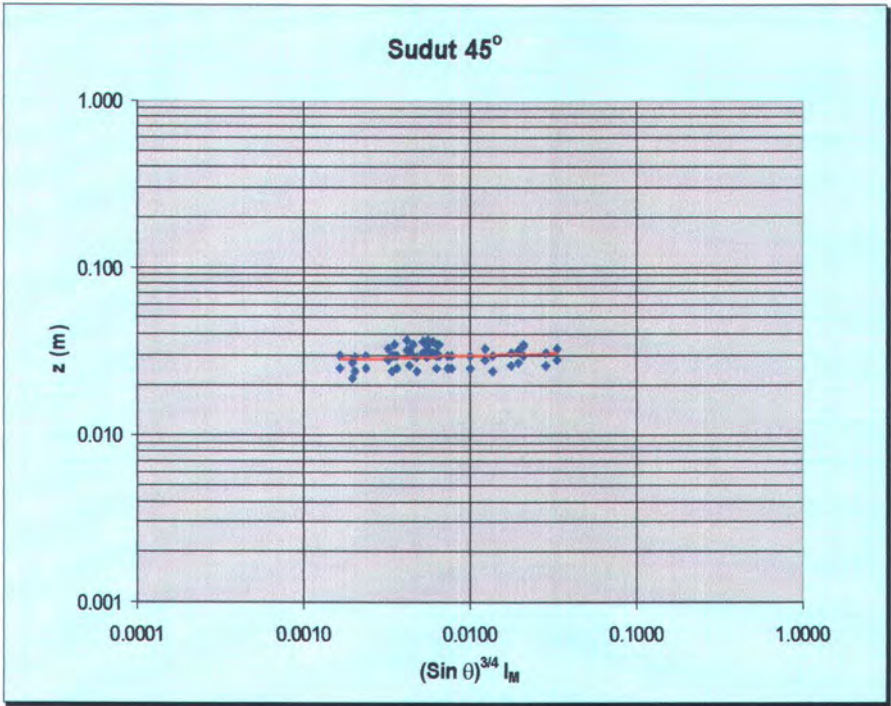
Perilaku dari *buoyant jet* ditentukan oleh bilangan *Richardson*, $R_o = QB^{1/2} / M^{5/4}$. Hubungan tersebut hanya untuk gerakan *buoyant jet* secara vertikal keatas, percobaannya telah dilakukan oleh (Abraham, 1967; Turner, 1966) untuk jet vertikal dan mendapatkan nilai konstanta antara 1.5 and 2.1.

Non vertikal jet dengan arah *plume* membentuk sudut terhadap arah arus untuk positif maupun *negative buoyant* telah diestimasi bahwa sudut *port* (θ) yang memberikan arah gerakan non vertikal pada *discharge* berpengaruh pada perilaku kenaikan *plume* pada elevasi tertentu, yang mana $z \sim (M \sin \theta)^{3/4} / B^{1/2}$. Pada elevasi tertentu, akibat adanya gerakan arus secara horizontal, *plume* mengalami pembelokan (*bent over*) menuju permukaan, sehingga dapat diketahui bahwa gerakan *negative buoyant* memiliki batas elevasi tertentu.

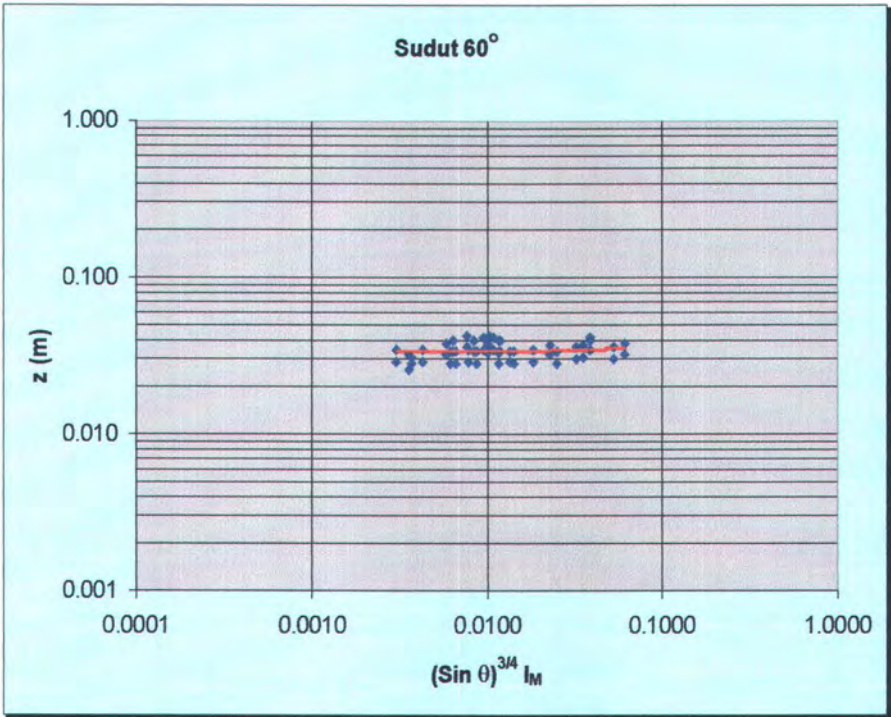
Pada Gambar 4.8, 4.9 dan 4.10 dapat diketahui bahwa gerakan *negative buoyant* pada arah arus *cross-flow* memiliki batas ketinggian maksimum plume (*centerline* ke *port*) berbalik arah z_t , menghasilkan model persamaan empiris $z \sim (M \sin \theta)^{3/4} / B^{1/2}$ dengan konstanta ketinggian berturut-turut adalah 0.1953, 0.0326 dan 0.0384 pada zona BDNF untuk $z/l_b < 1$.



Gambar 4.8 Grafik hubungan antara sudut *port* 30° terhadap ketinggian maksimum plume (*centerline* ke *port*) berbalik arah z_t



Gambar 4.9 Grafik hubungan antara sudut *port* 45° terhadap ketinggian maksimum plume (*centerline*) dari *port* yang berbalik arah (z_1)



Gambar 4.10 Grafik hubungan antara sudut *port* 60° terhadap ketinggian maksimum plume (*centerline*) dari *port* yang berbalik arah (z_1)



Grafik pada Gambar 4.8, 4.9 dan 4.10 diatas menunjukkan bahwa sudut *port* sebesar 30°, 45° dan 60° memberikan konstanta berturut-turut 0.1953, 0.0326 dan 0.0318 untuk vertikal *negative buoyant*, dan diperoleh suatu persamaan empirik yang dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Nilai konstanta ketinggian maksimum titik balik arah plume (*centerline*) dari *port* (z_t) pada sudut *port* 30°, 45° dan 60°

Inklinasi <i>port</i> (θ)	Hubungan ketinggian maksimum titik balik arah plume (<i>centerline</i>) dari <i>port</i> (z_t).	Nilai konstanta (C)	Range dari parameter <i>buoyancy</i>
30°	$z_t = C_1 \frac{(M \sin \theta)^{3/4}}{B^{1/2}}$	0.1953	$\frac{z_1}{l_b} < 1$
45°	$z_t = C_2 \frac{(M \sin \theta)^{3/4}}{B^{1/2}}$	0.0326	$\frac{z_2}{l_b} < 1$
60°	$z_t = C_3 \frac{(M \sin \theta)^{3/4}}{B^{1/2}}$	0.0318	$\frac{z_3}{l_b} < 1$

Dari persamaan yang didapat secara fisik, maka ketinggian maksimum plume (*centerline*) dari *port* yang berbalik arah (z_t) pada *negative buoyant* dapat diketahui, dimana pada inklinasi tertentu akan memiliki ketinggian maksimum plume (*centerline*) dari *port* yang berbalik arah (z_t) yang tidak sama, bergantung pada besarnya momentum (M), buoyansi (B) dan sudut kemiringan *port* (θ).

Dari Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa konstanta ketinggian maksimum plume (*centerline*) dari *port* yang berbalik arah (z_t) *buoyant plume* dari buangan limbah panas untuk masing-masing konfigurasi sudut *port* memiliki perbedaan. Untuk sudut *port* 30° diperoleh konstanta elevasi sebesar 0.1953 dan memiliki nilai terbesar dibandingkan dengan konstanta elevasi sudut *port* 45° dan 60°. Ini artinya pada kondisi lingkungan dan karakter *effluent* yang sama, maka nilai kenaikan ketinggian maksimum plume (*centerline*) dari *port* yang berbalik arah (z_t) terbesar terjadi pada konfigurasi *port* dengan sudut 30°. Hal ini memberikan informasi untuk pendesainan

ocean outfall dimana dapat menentukan ketinggian maksimum yang paling efektif dalam perencanaan pembuangan polutan, sehingga dapat mencegah timbulnya *boil* dan mengetahui jarak aman ketinggian plume akibat adanya arah arus *cross-flow* yang dapat menimbulkan pencemaran, khususnya di lepas pantai.

Dari Tabel 4.6 diatas juga dapat diketahui bahwa nilai konstanta ketinggian maksimum plume (*centerline*) dari *port* yang berbalik arah (z_1) pada sudut *port* 30° , 45° dan 60° menunjukkan tren negatif. Ini berarti bahwa semakin besar sudut *port* terhadap arah horisontal arus *cross-flow* maka semakin rendah ketinggian maksimum titik balik arah plume (*centerline*) dari *port* (z_1). Sebaliknya, semakin kecil sudut *port* terhadap arah horisontal arus *cross-flow* maka semakin tinggi titik balik arah plume (*centerline*) dari *port* (z_1).

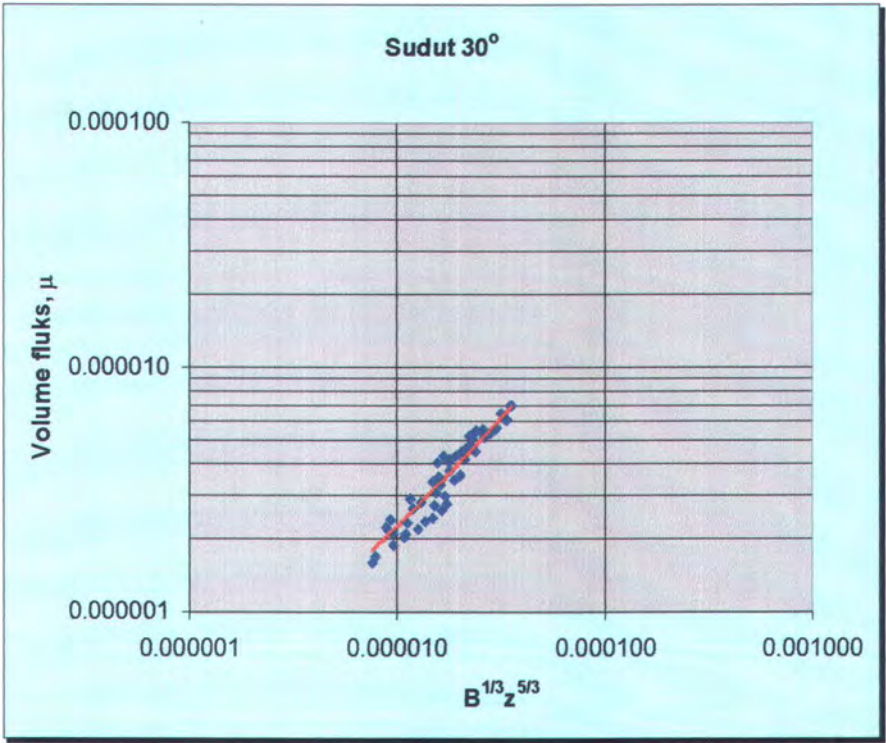
Inklinasi dari desain *port* ini akan memberikan keuntungan apabila pembuangan limbah atau effluen dilakukan pada kondisi laut yang dangkal dan arah arus *cross-flow* lebih dominan, sehingga dapat memperbesar dan memaksimalkan harga *initial dilution*. Selain itu juga apabila fluida dari effluen memiliki densitas yang lebih kecil dibandingkan dengan densitas *ambient*, maka akan terjadi gerakan (*falling back*) menuju struktur *outfall* itu sendiri jika mengarah secara vertikal.

4.5 Evaluasi Pengaruh Sudut *Port* Terhadap Volume *Plume*.

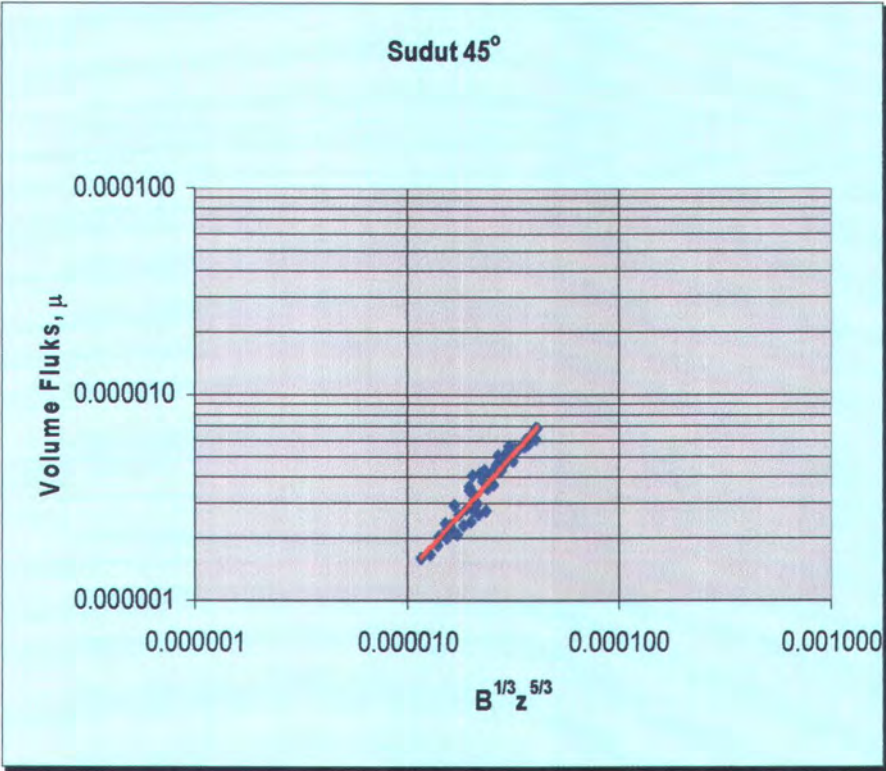
Pure plume dapat dianalisa dengan mudah dibandingkan dengan *pure jet*, hal ini dikarenakan tidak adanya *initial* volume dan momentum fluks, dan bentuknya seperti asap dari api. Hal ini berarti seluruh variabel yang berpengaruh terhadap *plume* hanya buoyansi fluks, kedalaman *discharge* (z) dan viskositas *plume* (ν). Densitas effluen lebih kecil dibandingkan dengan *ambient*, karena pengaruh temperatur yang lebih tinggi $\pm 30^\circ\text{C}$, sehingga kekuatan gaya gravitasi menggantikan momentum dari gerakan *plume*. Pada jarak yang jauh dari sumber, gerakannya adalah turbulen, akibat adanya *entrainment* oleh pengaruh arus yang menyebabkan fluida *ambient* menyusup ke badan *plume*. Berdasarkan eksperimen sebelumnya (Fischer, 1979),

plume ini memiliki volume yang besarnya dapat ditunjukkan oleh hubungan M, Q, l_Q dan z , yang dirumuskan $\mu = [7,0\pi(M/Q)(l_Q/z)](0,107z)^2$.

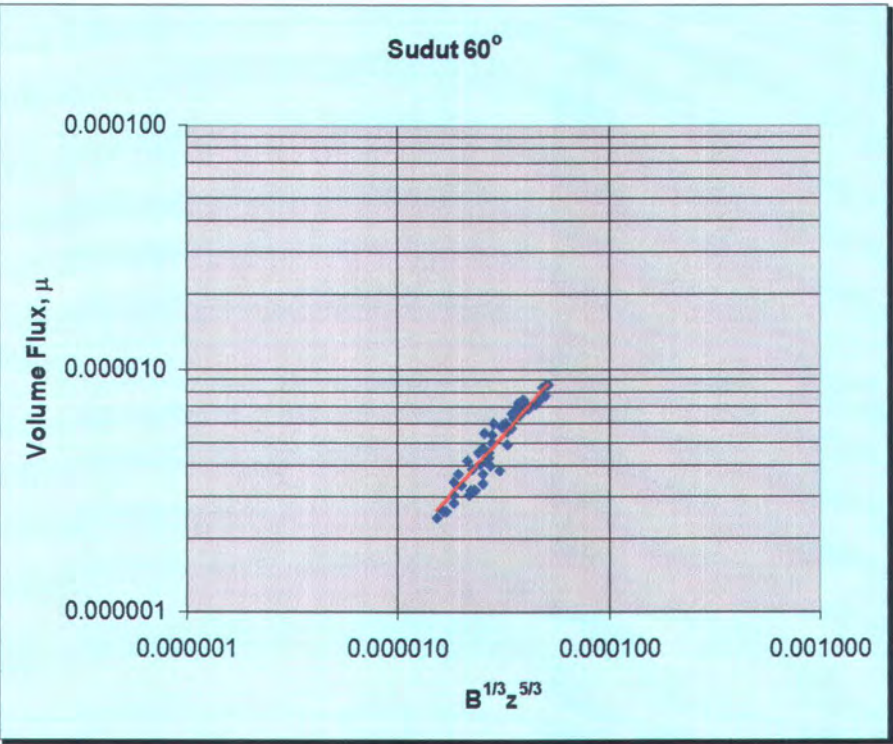
Gambar 4.11, 4.12 dan 4.13 menunjukkan bahwa sudut *port* sebesar 30°, 45° dan 60° memberikan konstanta berturut-turut 0.185, 0.1749 dan 0.1672 untuk vertikal *negative buoyant*, dan diperoleh suatu persamaan empirik yang dapat dilihat pada Tabel 4.7.



Gambar 4.11 Grafik volume fluks (μ) vs B^{1/3} z^{5/3} untuk sudut 30°



Gambar 4.12 Grafik volume fluks (μ) vs $B^{1/3} z^{5/3}$ untuk sudut 45°



Gambar 4.13 Grafik volume fluks (μ) vs $B^{1/3} z^{5/3}$ untuk sudut 60°

Tabel 4.7 Nilai konstanta volume fluks pada sudut *port* 30°, 45° dan 60° pada zona BDNF

Inklinasi <i>port</i> (θ)	Hubungan volume fluks	Nilai konstanta volume (c)	Range dari parameter buoyancy
30°	$\mu = c_1 B^{1/3} z^{5/3}$	0.185	$\frac{z_1}{l_b} < 1$
45°	$\mu = c_2 B^{1/3} z^{5/3}$	0.1749	$\frac{z_2}{l_b} < 1$
60°	$\mu = c_3 B^{1/3} z^{5/3}$	0.1672	$\frac{z_3}{l_b} < 1$

Dari Tabel 4.7 diatas dapat diketahui bahwa dari hasil percobaan yang telah dilakukan dengan menggunakan analisa dimensi dan studi percobaan sebelumnya (Fischer, 1979) diperoleh bahwa besarnya volume *plume* (μ) merupakan fungsi dari besarnya buoyansi dan jarak titik pengukuran pada *centerline* (z), dimana, $\mu = cB^{1/3} z^{5/3}$. Telah dibuktikan pada percobaan ini bahwa untuk vertikal *plume* dengan sudut *port* 30°, 45° dan 60° berturut-turut memiliki harga (c) sebesar 0.185, 0.1749 dan 0.1672. Jadi pada kondisi pengukuran di lapangan, pada point tertentu sepanjang *centerline plume* dapat diukur besarnya volume *plume* menggunakan persamaan empiris yang didapat dan besarnya konstanta volume *plume* spesifik terhadap masing-masing sudut *port*.

Dari Tabel 4.7 diatas juga dapat diketahui bahwa nilai konstanta volume fluks mulai dari sudut *port* 30°, 45° dan 60° menunjukkan tren negatif. Ini berarti bahwa semakin besar sudut *port* terhadap arah horisontal arus *cross-flow* maka semakin kecil volume fluks yang terjadi. Sebaliknya, semakin kecil sudut *port* terhadap arah horisontal arus *cross-flow* maka semakin besar volume fluks yang terjadi.

4.6 Studi Kasus Aplikasi Model

Model *initial dilution* yang telah didapatkan diaplikasikan dalam studi kasus pada pengukuran *outfall* dari Terra Nova FPSO *platform*. Pada Terra Nova FPSO *platform*, *produced water* yang dipisahkan dari minyak mentah selama proses

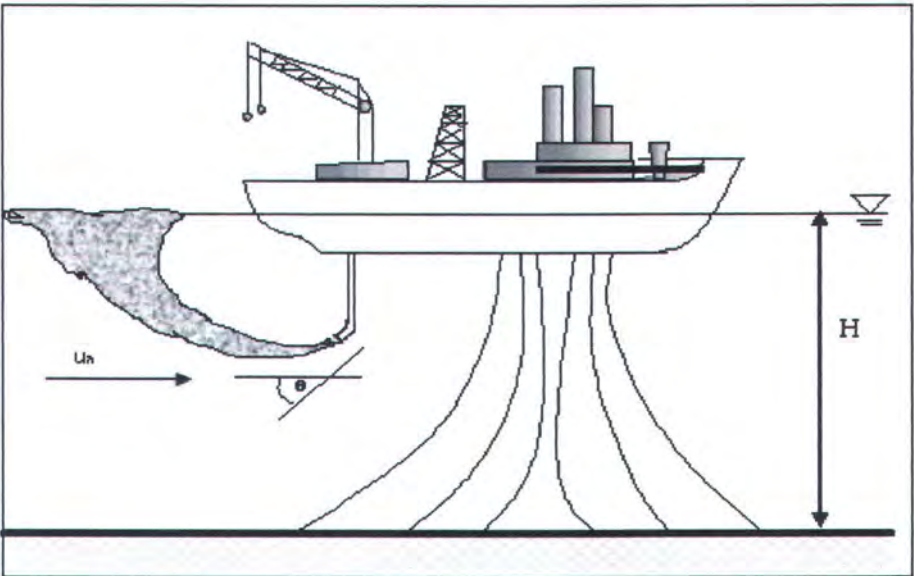
produksi akan dialirkan ke *produced water treatment* sebelum dibuang ke laut. Karakteristik dari *produced water* yang diinjeksikan ke laut adalah *warmer*, memiliki densitas yang sangat kecil dibandingkan dengan densitas air laut, dan jika dibuang akan membentuk *buoyant plume*.

Limbah dibuang melalui *single port*, dengan arah *port* horizontal, dan mempunyai diameter 0.305 m. Rata-rata debit *effluent* yang dibuang sebesar 0.2118 m³/s dan dengan kedalaman pembuangan 10 m terhadap permukaan air (Mukhtasor, 2001).

Karakteristik lingkungan pada Terra Nova FPSO *platform* dapat dirinci sebagai berikut :

- Kedalaman air : 95 m
- *Range* temperatur udara : -17.3 sampai 26.8 °C dengan rata-rata 5°C
- Kecepatan angin : 35 km/h
- *Range* temperatur air : -1.7 sampai 15.4 °C

Dengan menggunakan analisa dimensi untuk variasi rasio *length scale*, didapatkan l_Q/l_b adalah 0.01; l_m/l_b sebesar 0.205 dan z/l_b adalah 0.366.



Gambar 4.14 Skematis *negative buoyant jet* dan *plume* dari pembuangan *produced water* pada FPSO (tidak berskala) (Pribadi, 2005)

Penghitungan besarnya *initial dilution* pada kasus diatas, akan dilakukan pendekatan melalui tiga model persamaan *initial dilution*, yaitu berdasarkan model persamaan untuk sudut 30°, 45° dan 60° yang didapatkan dari hasil percobaan untuk zona BDNF, dan model persamaannya dapat dilihat pada Tabel 4.4. Dari hasil perhitungan menggunakan persamaan-persamaan empiris yang telah didapat, maka besarnya harga *initial dilution* pada kasus Terra Nova FPSO *platform* dapat dilihat pada Tabel 4.8 dibawah.

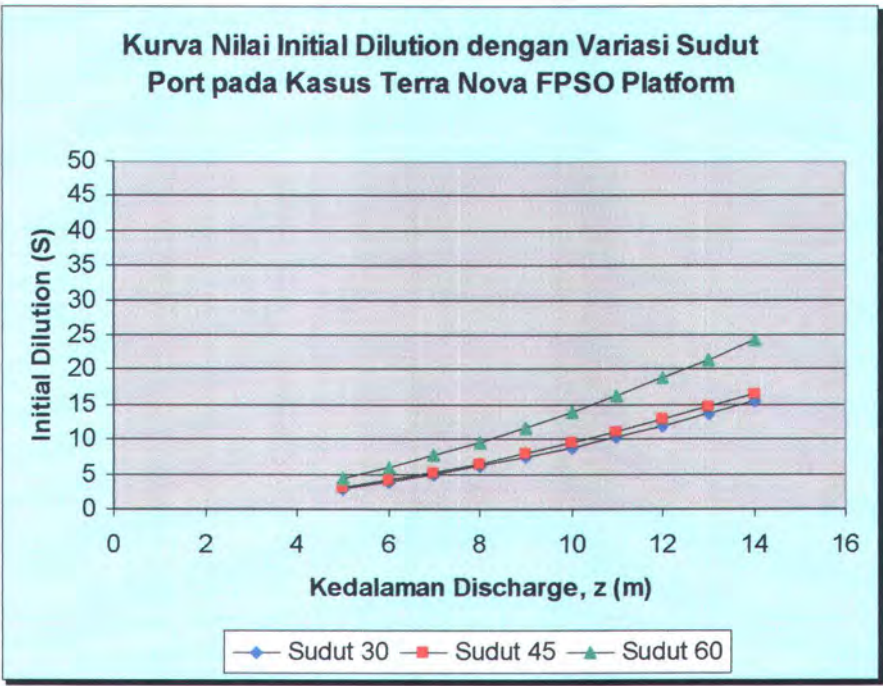
Pada tabel 4.8 dapat diketahui bahwa konfigurasi *port* dengan sudut 60° menghasilkan angka *initial dilution* yang cukup signifikan besar dibandingkan sudut 30° dan 45°, dengan selisih terbesar pada kedalaman 14 m, yaitu 7.674 terhadap sudut 45° dan 8.876 terhadap sudut 30°. Hal ini membuktikan bahwa besarnya angka *initial dilution* sangat dipengaruhi oleh kedalaman yang besar.

Tabel 4.8 Aplikasi hubungan *Initial dilution* dari variasi sudut *port* pada kasus Terra Nova FPSO *platform*

Skenario	z (m) D (m)	S (θ = 30°)	S (θ = 45°)	S (θ = 60°)
1	5 (0,483)	2.769	2.985	4.365
2	6 (0,483)	3.752	4.045	5.915
3	7 (0,483)	4.852	5.230	7.647
4	8 (0,483)	6.061	6.534	9.553
5	9 (0,483)	7.375	7.951	11.625
6	10 (0,483)	8.791	9.477	13.857
7	11 (0,483)	10.305	11.109	16.243
8	12 (0,483)	11.913	12.842	18.778
9	13 (0,483)	13.613	14.675	21.457
10	14 (0,483)	15.403	16.604	24.278

Catatan :

- Perbedaan densitas relatif untuk skenario diatas adalah 0.013 (berdasarkan data *discharge* di North Sea).
- u_a rata-rata harian arus *ambient* besarnya 0.056 m/s.

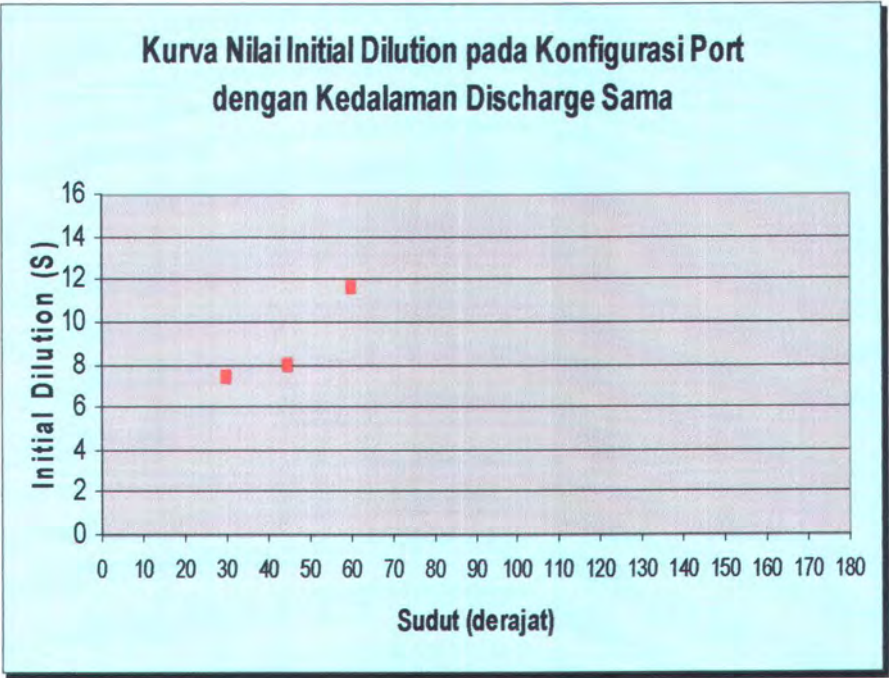


Gambar 4.15 *Initial dilution* fungsi kedalaman *discharge* pada kecepatan arus rata-rata *ambient* pada kasus Terra Nova FPSO platform.

Dari data nilai *initial dilution* pada Tabel 4.8 dapat diketahui bahwa pada penambahan kedalaman sebesar 1 m, dari tiap-tiap konfigurasi sudut *port* memiliki selisih yang berbeda secara nyata. Menggunakan sudut *port* 30°, selisih pengenceran yang terjadi antara *range* 0.983-1.79. Pada sudut *port* 45° memiliki selisih pengenceran 1.06-1.929 dan sudut 60° memiliki selisih pengenceran sebesar 1.55-2.821.

Gambar 4.15 menunjukkan kenaikan tingkat pengenceran dari masing-masing sudut *port* sebanding dengan besarnya kedalaman *discharge*. Dengan kecepatan arus sebesar 0.056 m/s dan diameter *port* sebesar 0.483 m, nilai pengenceran pada kedalaman *discharge* 5-6 m sangat kecil dan belum memberikan perbedaan yang nyata. Tetapi pada kedalaman diatas 8 m memberikan perbedaan yang nyata pada setiap konfigurasi *port*, sehingga dari kondisi tersebut memberikan informasi bahwa *port* dengan sudut 60° memberikan dilusi yang paling baik dan efektif untuk arus *cross-flow*. Hal ini akan sangat jelas dengan melihat pada Gambar 4.16, dimana

terlihat bahwa *port* dengan sudut 60° pada kedalaman *discharge* yang sama, yaitu 9 meter, memberikan nilai *initial dilution* yang paling tinggi dibandingkan dengan *port* yang bersudut 30° dan 45° .



Gambar 4.16 Nilai *initial dilution* pada ketiga konfigurasi *port* yang berbeda dengan kedalaman *discharge* yang sama, 9 m

*“Allah menciptakan kamu, kemudian mewafatkan kamu;
dan di antara kamu ada yang dikembalikan kepada umur
yang paling lemah (pikun), supaya dia tidak mengetahui
lagi sesuatu pun yang pernah diketahuinya.
Sesungguhnya Allah Maha Mengetahui lagi Maha
Kuasa” (Q. S. An-Nahl: 70)*



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa perhitungan dan percobaan yang telah dilakukan dalam melakukan pemodelan *initial dilution* limbah panas secara fisik di laboratorium, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

- 1 Pemodelan persamaan empiris *initial dilution* $(SQ)/(B^{1/3} z^{5/3}) \sim (z/l_b)$ untuk percobaan pada sudut *port* 30°, 45° dan 60°, memberikan konstanta dilusi berturut-turut adalah 0.3653, 0.3938 dan 0.5758 pada zona BDNF untuk $z/l_b < 1$. Dari percobaan diketahui bahwa pada sudut pada *port* 60° memberikan nilai dilusi terbesar yang berarti jika polutan limbah panas dibuang ke laut dengan sudut pada *port* 60° pada arah arus *cross-flow*, maka polutan limbah panas akan cepat mengalami pengenceran dengan level kesetimbangan lingkungan.
- 2 Dari pembahasan yang dilakukan, menunjukkan bahwa nilai dilusi pada arus *cross-flow* lebih tinggi rata-rata 96% daripada nilai dilusi pada arus *co-flow*, pada masing-masing sudut *port* 30°, 45° dan 60°.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini :

1. Mengingat kondisi di lapangan terdapat faktor besarnya gelombang dan faktor angin, maka perlu dilakukan percobaan dengan menggunakan variabel besarnya gaya gelombang dan angin.
2. Percobaan perlu dilanjutkan dengan uji di lapangan untuk mengkaji aspek kimia dan biologisnya.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Chu, V.H. 1996. Jets and plume, dalam **Environmental Hydraulics**, diedit oleh V. P. Singh and W. H. Hager. Kluwer Academic Publisers. Printed in Netherlands.
- Dalrymple, R. A. 1985. Water wave mechanics for engineers and scientists, dalam **Physical Models and Laboratory Techniques In Coastal Engineering**, oleh S. A. Hughes. Advanced Series On Ocean Engineering-Volume 7. World Scientific Publishing Co, Pte, Ltd, Singapore.
- Doneker, R. L. 1996. **User's Manual For CORMIX : A Hydrodynamic Mixing Zone Model And Decision Support System For Pollutant Discharge Into Surface Waters**. Office Of Science And Technology U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC 20460.
- Draper, N. R dan Smith, H. 1992. **Analisa Regresi Terapan Edisi Kedua**. Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- Gawad, J.A. McCorquodale, dan H. Gerges. 1996. Near-field mixing at an outfall. **Journal Civil Engineering**, vol.23. 1996.
- Hakim, Abdul. 2004. **Statistik Deskriptif**. Ekonisia: Yogyakarta.
- Hino, M. 1994. **Water Quality and Its Control**. Departement of Civil Engineering. Tokyo Institute of Technology, O-Okayama, Meguroku, Tokyo-Japan.
- Hughes, S. A. 1993. **Physical Models and Laboratory Techniques In Coastal Engineering**. Advanced Series On Ocean Engineering-Volume 7. World Scientific Publishing Co, Pte, Ltd, Singapore.
- Indiyono, P. 1999. **Hidrodinamika I**. Fakultas Teknologi Kelautan ITS. Surabaya.
- Jirka. 1986. Waste disposal in the ocean, dalam **Water Quality and Its Control**, diedit oleh M. Hino. Departement of Civil Engineering. Tokyo Institute of Technology, O-Okayama, Meguroku, Tokyo-Japan.
- Jirka. 2002. Waste disposal in the ocean, dalam **Water Quality and Its Control**, diedit oleh M. Hino. Departement of Civil Engineering. Tokyo Institute of Technology, O-Okayama, Meguroku, Tokyo-Japan.

- Kim, D.G., Seo, I.W. 2001. Modelling the mixing of heated water discharged from a submerged multiport diffuser. **Journal of Hidraulic Research**, vol.38. 2000, no. 4.
- Lee, J.H.W dan V. Cheung,. 1991. Mixing of buoyancy-dominated jets in a weak current. **Proc. Institute Civil Engineerings**, part 2, 1991, march., 113-129.
- Mukhtasor, L.M. Lee, dan J.J. Sharp. 2002. A new approach to modelling initial dilution of buoyancy-dominated jet in moving water. **Journal Environmental Engineering, Sci.**, vol.1. 2002.
- Pribadi. 2005. "Pemodelan Dilusi *Outfall* Pada Aliran Arus Lemah Menggunakan Transducer Temperatur ". **Tugas Akhir S1**. Fakultas Teknologi Kelautan ITS. Surabaya.
- Satriyanto. 2002. "Pemodelan Matematis Untuk Perhitungan Difusi Turbulen Pada Suatu Jenis Ocean Outfall". **Tugas Akhir S1**. Fakultas Teknologi Kelautan ITS. Surabaya.
- Sembiring, R. K. 2003. **Analisis Regresi**. Penerbit ITB: Bandung.
- Supranto, J. 2001. **Statistik: Teori dan Aplikasi**. Erlangga: Surabaya
- Roberts, P. J. W. 1996. Sea outfall, dalam **Environmental Hydraulics**, diedit oleh V. P. Singh and W. H. Hager. Kluwer Academic Publisers. Printed in Netherlands.
- Wright, S.J. 1977. Effect of ambient crossflows and density stratification on the characteristic behavior of round turbulent buoyant jets. **Report no. KH-R-36**



LAMPIRAN

Lampiran 1 Data hasil percobaan pada sensor 1

Perc. ke	Discharge Temperatur (°C)	Kec. Arus Ua (m/s)	Kec. discharge Uj (cm/s)	Debit Q (m³/s)	Momentum M (m⁴/s²)	Buoyancy B (m⁴/s³)	Z1	Z2	Z3	Temperature excess sudut 30 (°C)	Temperature excess sudut 45 (°C)	Temperature excess sudut 60 (°C)
							$\theta = 30^\circ$ (m)	$\theta = 45^\circ$ (m)	$\theta = 60^\circ$ (m)			
1	56.5	0.0052	0.0559	2.468E-06	1.380E-07	2.80E-07	0.02	0.025	0.028	38.8	37.9	35.7
2	58	0.0079	0.0577	2.548E-06	1.470E-07	3.08E-07	0.021	0.026	0.029	39.5	38.8	35.4
3	55	0.0097	0.0557	2.460E-06	1.370E-07	2.61E-07	0.018	0.024	0.028	40.6	38.8	36.1
4	58.8	0.0028	0.065	2.870E-06	1.866E-07	3.59E-07	0.019	0.024	0.028	41.7	37.8	35.7
5	56.8	0.0022	0.0661	2.919E-06	1.929E-07	3.36E-07	0.021	0.026	0.030	47.0	42.3	34.4
6	59.1	0.0032	0.1057	4.667E-06	4.933E-07	5.90E-07	0.023	0.027	0.031	48.7	42.8	36.3
7	59	0.0115	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	5.98E-07	0.024	0.029	0.033	47.3	41.4	37.3
8	61.8	0.0019	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.96E-07	0.023	0.028	0.032	41.3	41.0	35.8
9	61.2	0.0022	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.82E-07	0.023	0.026	0.030	44.4	40.4	35.8
10	60.9	0.003	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.75E-07	0.024	0.03	0.035	50.9	44.0	39.9
11	61.6	0.003	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.92E-07	0.024	0.03	0.035	45.2	44.1	44.7
12	60.1	0.0057	0.0971	4.288E-06	4.163E-07	7.74E-07	0.022	0.025	0.029	48.8	42.9	38.8
13	59.3	0.0069	0.0867	3.828E-06	3.319E-07	4.88E-07	0.02	0.025	0.029	46.3	43.1	40.7
14	61.3	0.0074	0.0969	4.279E-06	4.146E-07	7.98E-07	0.021	0.025	0.028	48.7	44.0	36.4
15	60.4	0.01	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.64E-07	0.025	0.03	0.033	51.9	50.5	40.6
16	58.2	0.0098	0.0792	3.497E-06	2.770E-07	4.27E-07	0.018	0.024	0.028	43.7	49.4	37.5
17	56.3	0.0119	0.0736	3.250E-06	2.392E-07	3.66E-07	0.018	0.025	0.028	45.2	46.1	39.2
18	60.5	0.0051	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.66E-07	0.023	0.028	0.032	44.2	42.8	39.6
19	58.4	0.0169	0.0563	2.486E-06	1.400E-07	3.06E-07	0.017	0.022	0.026	41.3	52.8	40.7
20	62.8	0.0115	0.11	4.857E-06	5.343E-07	9.41E-07	0.026	0.032	0.036	43.2	43.3	41.0
21	63.8	0.0155	0.11	4.857E-06	5.343E-07	9.65E-07	0.026	0.032	0.036	49.5	46.7	41.6
22	64.1	0.0184	0.11	4.857E-06	5.343E-07	9.72E-07	0.025	0.03	0.034	45.6	47.0	38.6
23	63.2	0.01	0.11	4.857E-06	5.343E-07	9.51E-07	0.026	0.03	0.034	50.0	49.7	41.8

24	61.6	0.0209	0.0838	3.700E-06	3.101E-07	6.95E-07	0.02	0.025	0.029	47.5	47.8	40.6
25	60.4	0.0234	0.0657	2.901E-06	1.906E-07	5.28E-07	0.019	0.025	0.029	41.0	40.2	38.8
26	63.9	0.0124	0.1258	5.555E-06	6.988E-07	1.11E-06	0.026	0.031	0.035	44.9	45.9	38.3
27	66.2	0.0141	0.1258	5.555E-06	6.988E-07	1.17E-06	0.026	0.031	0.035	50.6	43.9	39.1
28	64.2	0.0162	0.1258	5.555E-06	6.988E-07	1.11E-06	0.025	0.03	0.034	56.0	41.5	37.3
29	61.4	0.02	0.1094	4.831E-06	5.285E-07	9.03E-07	0.023	0.028	0.032	47.0	51.4	36.6
30	60.9	0.0243	0.083	3.665E-06	3.042E-07	6.76E-07	0.019	0.024	0.028	50.4	46.8	35.9

Lampiran 2 Data temperatur excess hasil percobaan pada sensor 2

Perc. ke	Discharge Temperatur (°C)	Kec. Arus Ua (m/s)	Kec. discharge Uj (cm/s)	Debit Q (m³/s)	Momentum M (m⁴/s²)	Buoyancy B (m⁴/s³)	Z1	Z2	Z3	Temperature excess sudut 30 (°C)	Temperature excess sudut 45 (°C)	Temperature excess sudut 60 (°C)
							$\theta = 30^\circ$ (m)	$\theta = 45^\circ$ (m)	$\theta = 60^\circ$ (m)			
1	56.5	0.0052	0.0559	2.468E-06	1.380E-07	2.80E-07	0.026	0.031	0.034	32.6	32.9	29.4
2	58	0.0079	0.0577	2.548E-06	1.470E-07	3.08E-07	0.027	0.032	0.035	33.9	33.8	29.1
3	55	0.0097	0.0557	2.460E-06	1.370E-07	2.61E-07	0.025	0.03	0.034	36.2	32.0	30.5
4	58.8	0.0028	0.065	2.870E-06	1.866E-07	3.59E-07	0.025	0.03	0.034	38.5	33.4	30.6
5	56.8	0.0022	0.0661	2.919E-06	1.929E-07	3.36E-07	0.027	0.031	0.036	41.6	33.0	29.7
6	59.1	0.0032	0.1057	4.667E-06	4.933E-07	5.90E-07	0.029	0.032	0.037	44.1	36.8	31.8
7	59	0.0115	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	5.98E-07	0.031	0.034	0.038	37.3	36.8	31.8
8	61.8	0.0019	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.96E-07	0.03	0.033	0.038	44.0	37.8	31.9
9	61.2	0.0022	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.82E-07	0.029	0.031	0.036	38.3	37.9	33.9
10	60.9	0.003	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.75E-07	0.031	0.034	0.041	42.6	45.3	35.0
11	61.6	0.003	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.92E-07	0.031	0.035	0.04	43.2	44.7	34.6
12	60.1	0.0057	0.0971	4.288E-06	4.163E-07	7.74E-07	0.028	0.03	0.035	42.0	40.7	34.4
13	59.3	0.0069	0.0867	3.828E-06	3.319E-07	4.88E-07	0.026	0.03	0.034	43.8	40.7	31.1
14	61.3	0.0074	0.0969	4.279E-06	4.146E-07	7.98E-07	0.026	0.03	0.034	48.9	40.7	32.6
15	60.4	0.01	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.64E-07	0.031	0.035	0.04	44.8	47.7	35.7
16	58.2	0.0098	0.0792	3.497E-06	2.770E-07	4.27E-07	0.025	0.029	0.034	38.8	34.9	33.0
17	56.3	0.0119	0.0736	3.250E-06	2.392E-07	3.66E-07	0.025	0.03	0.034	41.7	33.2	34.0
18	60.5	0.0051	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.66E-07	0.029	0.033	0.037	39.0	33.8	31.7
19	58.4	0.0169	0.0563	2.486E-06	1.400E-07	3.06E-07	0.023	0.027	0.032	40.4	43.8	32.0
20	62.8	0.0115	0.11	4.857E-06	5.343E-07	9.41E-07	0.033	0.037	0.042	43.4	33.2	32.1
21	63.8	0.0155	0.11	4.857E-06	5.343E-07	9.65E-07	0.033	0.037	0.042	47.0	44.3	33.9
22	64.1	0.0184	0.11	4.857E-06	5.343E-07	9.72E-07	0.031	0.035	0.04	45.2	38.9	36.1
23	63.2	0.01	0.11	4.857E-06	5.343E-07	9.51E-07	0.033	0.035	0.04	46.9	32.2	36.6

24	61.6	0.0209	0.0838	3.700E-06	3.101E-07	6.95E-07	0.026	0.03	0.035	48.0	39.9	32.5
25	60.4	0.0234	0.0657	2.901E-06	1.906E-07	5.28E-07	0.025	0.03	0.035	40.4	36.1	32.0
26	63.9	0.0124	0.1258	5.555E-06	6.988E-07	1.11E-06	0.033	0.036	0.041	43.1	37.8	32.9
27	66.2	0.0141	0.1258	5.555E-06	6.988E-07	1.17E-06	0.033	0.036	0.041	48.0	40.0	39.2
28	64.2	0.0162	0.1258	5.555E-06	6.988E-07	1.11E-06	0.031	0.035	0.04	51.6	39.8	40.4
29	61.4	0.02	0.1094	4.831E-06	5.285E-07	9.03E-07	0.029	0.033	0.038	40.7	42.9	38.1
30	60.9	0.0243	0.083	3.665E-06	3.042E-07	6.76E-07	0.025	0.029	0.031	47.7	33.0	33.6

Lampiran 3 Pengukuran *Initial Dilution* pada sensor 1 titik $x_1 = 3\text{ cm}$

Perc. ke	Kec. Arus Ua (m/s)	Kec. discharge Uj (cm/s)	Debit Q (m ³ /s)	Momentum M (m ⁴ /s ²)	Buoyancy B (m ⁴ /s ³)	Dilusi (S) sudut 30 ^o	Dilusi (S) sudut 45 ^o	Dilusi (S) sudut 60 ^o
1	0.0052	0.0559	2.468E-06	1.380E-07	2.80E-07	2.729	2.966	3.908
2	0.0079	0.0577	2.548E-06	1.470E-07	3.08E-07	2.685	2.875	4.281
3	0.0097	0.0557	2.460E-06	1.370E-07	2.61E-07	2.194	2.583	3.478
4	0.0028	0.065	2.870E-06	1.866E-07	3.59E-07	2.300	3.241	4.229
5	0.0022	0.0661	2.919E-06	1.929E-07	3.36E-07	1.526	2.049	4.805
6	0.0032	0.1057	4.667E-06	4.933E-07	5.90E-07	1.516	2.145	3.922
7	0.0115	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	5.98E-07	1.621	2.365	3.465
8	0.0019	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.96E-07	2.600	2.664	4.590
9	0.0022	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.82E-07	2.056	2.748	4.451
10	0.003	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.75E-07	1.449	2.085	2.854
11	0.003	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.92E-07	1.979	2.118	2.046
12	0.0057	0.0971	4.288E-06	4.163E-07	7.74E-07	1.559	2.187	3.080
13	0.0069	0.0867	3.828E-06	3.319E-07	4.88E-07	1.729	2.106	2.531
14	0.0074	0.0969	4.279E-06	4.146E-07	7.98E-07	1.625	2.111	4.156
15	0.01	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.64E-07	1.365	1.450	2.641
16	0.0098	0.0792	3.497E-06	2.770E-07	4.27E-07	1.957	1.420	3.306
17	0.0119	0.0736	3.250E-06	2.392E-07	3.66E-07	1.663	1.577	2.595
18	0.0051	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.66E-07	2.036	2.243	2.889
19	0.0169	0.0563	2.486E-06	1.400E-07	3.06E-07	2.335	1.232	2.457
20	0.0115	0.11	4.857E-06	5.343E-07	9.41E-07	2.330	2.316	2.736
21	0.0155	0.11	4.857E-06	5.343E-07	9.65E-07	1.681	1.942	2.699
22	0.0184	0.11	4.857E-06	5.343E-07	9.72E-07	2.084	1.929	3.533
23	0.01	0.11	4.857E-06	5.343E-07	9.51E-07	1.611	1.638	2.616
24	0.0209	0.0838	3.700E-06	3.101E-07	6.95E-07	1.742	1.718	2.740
25	0.0234	0.0657	2.901E-06	1.906E-07	5.28E-07	2.545	2.723	3.109
26	0.0124	0.1258	5.555E-06	6.988E-07	1.11E-06	2.152	2.039	3.611
27	0.0141	0.1258	5.555E-06	6.988E-07	1.17E-06	1.707	2.455	3.549
28	0.0162	0.1258	5.555E-06	6.988E-07	1.11E-06	1.300	2.748	4.056
29	0.02	0.1094	4.831E-06	5.285E-07	9.03E-07	1.774	1.436	4.074
30	0.0243	0.083	3.665E-06	3.042E-07	6.76E-07	1.479	1.774	4.356

Lampiran 4 Pengukuran *Initial Dilution* pada sensor 2 titik $x_2 = 7\text{ cm}$

Perc. ke	Kec. Arus U_a (m/s)	Kec. discharge U_j (cm/s)	Debit Q (m ³ /s)	Momentum M (m ⁴ /s ²)	Buoyancy B (m ⁴ /s ³)	Dilusi (S) sudut 30 ⁰	Dilusi (S) sudut 45 ⁰	Dilusi (S) sudut 60 ⁰
1	0.0052	0.0559	2.468E-06	1.380E-07	2.80E-07	6.755	6.306	31.309
2	0.0079	0.0577	2.548E-06	1.470E-07	3.08E-07	5.437	5.538	49.265
3	0.0097	0.0557	2.460E-06	1.370E-07	2.61E-07	3.446	7.669	13.399
4	0.0028	0.065	2.870E-06	1.866E-07	3.59E-07	3.043	6.143	14.593
5	0.0022	0.0661	2.919E-06	1.929E-07	3.36E-07	2.159	6.235	23.786
6	0.0032	0.1057	4.667E-06	4.933E-07	5.90E-07	1.965	3.695	9.391
7	0.0115	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	5.98E-07	3.476	3.683	9.361
8	0.0019	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.96E-07	2.152	3.593	9.920
9	0.0022	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.82E-07	3.351	3.492	6.027
10	0.003	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.75E-07	2.299	1.934	4.978
11	0.003	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.92E-07	2.254	2.048	5.413
12	0.0057	0.0971	4.288E-06	4.163E-07	7.74E-07	2.340	2.586	5.340
13	0.0069	0.0867	3.828E-06	3.319E-07	4.88E-07	2.016	2.520	11.990
14	0.0074	0.0969	4.279E-06	4.146E-07	7.98E-07	1.608	2.684	7.914
15	0.01	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.64E-07	1.962	1.660	4.432
16	0.0098	0.0792	3.497E-06	2.770E-07	4.27E-07	2.897	4.633	6.544
17	0.0119	0.0736	3.250E-06	2.392E-07	3.66E-07	2.105	5.870	5.033
18	0.0051	0.1075	4.747E-06	5.103E-07	8.66E-07	3.034	6.007	10.127
19	0.0169	0.0563	2.486E-06	1.400E-07	3.06E-07	2.507	1.957	8.653
20	0.0115	0.11	4.857E-06	5.343E-07	9.41E-07	2.305	7.243	9.652
21	0.0155	0.11	4.857E-06	5.343E-07	9.65E-07	1.905	2.239	6.507
22	0.0184	0.11	4.857E-06	5.343E-07	9.72E-07	2.138	3.440	4.689
23	0.01	0.11	4.857E-06	5.343E-07	9.51E-07	1.883	9.501	4.292
24	0.0209	0.0838	3.700E-06	3.101E-07	6.95E-07	1.696	2.895	8.180
25	0.0234	0.0657	2.901E-06	1.906E-07	5.28E-07	2.675	4.202	9.232
26	0.0124	0.1258	5.555E-06	6.988E-07	1.11E-06	2.427	3.820	7.972
27	0.0141	0.1258	5.555E-06	6.988E-07	1.17E-06	1.932	3.269	3.509
28	0.0162	0.1258	5.555E-06	6.988E-07	1.11E-06	1.548	3.149	2.993
29	0.02	0.1094	4.831E-06	5.285E-07	9.03E-07	2.692	2.287	3.441
30	0.0243	0.083	3.665E-06	3.042E-07	6.76E-07	1.686	7.138	6.316

Lampiran 5 Tabel sifat-sifat fisik air (Roberson dan Crowe, 1997)

TABLE A.5 APPROXIMATE PHYSICAL PROPERTIES OF WATER* AT
ATMOSPHERIC PRESSURE

Temperature	Density	Specific weight	Dynamic viscosity	Kinematic viscosity	Vapor pressure
	kg/m ³	N/m ³	N • s/m ²	m ² /s	N/m ² abs.
0°C	1000	9810	1.79×10^{-3}	1.79×10^{-6}	611
5°C	1000	9810	1.51×10^{-3}	1.51×10^{-6}	872
10°C	1000	9810	1.31×10^{-3}	1.31×10^{-6}	1230
15°C	999	9800	1.14×10^{-3}	1.14×10^{-6}	1700
20°C	998	9790	1.00×10^{-3}	1.00×10^{-6}	2340
25°C	997	9781	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}	3170
30°C	996	9771	7.97×10^{-4}	8.00×10^{-7}	4250
35°C	994	9751	7.20×10^{-4}	7.24×10^{-7}	5630
40°C	992	9732	6.53×10^{-4}	6.58×10^{-7}	7380
50°C	988	9693	5.47×10^{-4}	5.53×10^{-7}	12,300
60°C	983	9643	4.66×10^{-4}	4.74×10^{-7}	20,000
70°C	978	9594	4.04×10^{-4}	4.13×10^{-7}	31,200
80°C	972	9535	3.54×10^{-4}	3.64×10^{-7}	47,400
90°C	965	9467	3.15×10^{-4}	3.26×10^{-7}	70,100
100°C	958	9398	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}	101,300
	slugs/ft ³	lbf/ft ³	lbf-s/ft ²	ft ² /s	psia
40°F	1.94	62.43	3.23×10^{-5}	1.66×10^{-5}	0.122
50°F	1.94	62.40	2.73×10^{-5}	1.41×10^{-5}	0.178
60°F	1.94	62.37	2.36×10^{-5}	1.22×10^{-5}	0.256
70°F	1.94	62.30	2.05×10^{-5}	1.06×10^{-5}	0.363
80°F	1.93	62.22	1.80×10^{-5}	0.930×10^{-5}	0.506
100°F	1.93	62.00	1.42×10^{-5}	0.739×10^{-5}	0.949
120°F	1.92	61.72	1.17×10^{-5}	0.609×10^{-5}	1.69
140°F	1.91	61.38	0.981×10^{-5}	0.514×10^{-5}	2.89
160°F	1.90	61.00	0.838×10^{-5}	0.442×10^{-5}	4.74
180°F	1.88	60.58	0.726×10^{-5}	0.385×10^{-5}	7.51
200°F	1.87	60.12	0.637×10^{-5}	0.341×10^{-5}	11.53
212°F	1.86	59.83	0.593×10^{-5}	0.319×10^{-5}	14.70

Lampiran 6 Data percobaan lengkap untuk pemodelan *initial dilution*.

Perc. ke	Discharge Temperature	Kec. discharge Uj (m/s)	Kec. Arus Ua (m/s)	Debit Q (m ³ /s)	Momentum M (m ⁴ /s ²)	Buoyancy B (m ⁴ /s ³)	z1/l _b θ = 30°	z2/l _b θ = 45°	z3/l _b θ = 60°	SQ/B ^{1/3} z ^{5/3} θ = 30°	SQ/B ^{1/3} z ^{5/3} θ = 45°	SQ/B ^{1/3} z ^{5/3} θ = 60°
1	56.5	0.0559	0.0052	2.468E-06	1.380E-07	2.804E-07	0.0100	0.0125	0.0140	0.69844	0.52330	0.57083
2	58	0.0577	0.0079	2.548E-06	1.470E-07	3.083E-07	0.0336	0.0416	0.0464	0.41673	0.47528	0.58982
3	55	0.0557	0.0097	2.460E-06	1.370E-07	2.613E-07	0.0629	0.0838	0.0978	0.39486	0.49765	0.51824
4	58.8	0.065	0.0028	2.870E-06	1.866E-07	3.585E-07	0.0012	0.0015	0.0017	0.43480	0.65572	0.66179
5	56.8	0.0661	0.0022	2.919E-06	1.929E-07	3.359E-07	0.0007	0.0008	0.0010	0.26372	0.37710	0.69648
6	59.1	0.1057	0.0032	4.667E-06	4.933E-07	5.899E-07	0.0013	0.0015	0.0017	0.30827	0.49129	0.71351
7	59	0.1075	0.0115	4.747E-06	5.103E-07	5.976E-07	0.0611	0.0738	0.0840	0.29861	0.48679	0.57510
8	61.8	0.1075	0.0019	4.747E-06	5.103E-07	8.965E-07	0.0002	0.0002	0.0002	0.44190	0.50803	0.70051
9	61.2	0.1075	0.0022	4.747E-06	5.103E-07	8.825E-07	0.0003	0.0003	0.0004	0.37175	0.59608	0.76050
10	60.9	0.1075	0.003	4.747E-06	5.103E-07	8.755E-07	0.0007	0.0009	0.0011	0.23498	0.35721	0.37819
11	61.6	0.1075	0.003	4.747E-06	5.103E-07	8.918E-07	0.0007	0.0009	0.0011	0.31910	0.36058	0.26947
12	60.1	0.0971	0.0057	4.288E-06	4.163E-07	7.739E-07	0.0053	0.0060	0.0069	0.28196	0.47792	0.52549
13	59.3	0.0867	0.0069	3.828E-06	3.319E-07	4.877E-07	0.0135	0.0168	0.0195	0.36853	0.47911	0.44966
14	61.3	0.0969	0.0074	4.279E-06	4.146E-07	7.976E-07	0.0107	0.0127	0.0142	0.32864	0.45565	0.74265
15	60.4	0.1075	0.01	4.747E-06	5.103E-07	8.638E-07	0.0289	0.0347	0.0382	0.22243	0.24951	0.38769
16	58.2	0.0792	0.0098	3.497E-06	2.770E-07	4.266E-07	0.0397	0.0530	0.0618	0.42541	0.33048	0.59480
17	56.3	0.0736	0.0119	3.250E-06	2.392E-07	3.660E-07	0.0829	0.1151	0.1289	0.35337	0.33513	0.45658
18	60.5	0.1075	0.0051	4.747E-06	5.103E-07	8.661E-07	0.0035	0.0043	0.0049	0.37031	0.43270	0.44596
19	58.4	0.0563	0.0169	2.486E-06	1.400E-07	3.057E-07	0.2684	0.3474	0.4106	0.46317	0.26315	0.39733
20	62.8	0.11	0.0115	4.857E-06	5.343E-07	9.412E-07	0.0420	0.0517	0.0582	0.34018	0.35588	0.34554
21	63.8	0.11	0.0155	4.857E-06	5.343E-07	9.651E-07	0.1003	0.1235	0.1389	0.24335	0.29592	0.33793
22	64.1	0.11	0.0184	4.857E-06	5.343E-07	9.723E-07	0.1602	0.1922	0.2178	0.33394	0.32660	0.48541
23	63.2	0.11	0.01	4.857E-06	5.343E-07	9.508E-07	0.0273	0.0316	0.0358	0.23432	0.27938	0.36218
24	61.6	0.0838	0.0209	3.700E-06	3.101E-07	6.952E-07	0.2626	0.3283	0.3808	0.31895	0.33567	0.41813

25	60.4	0.0657	0.0234	2.901E-06	1.906E-07	5.279E-07	0.4611	0.6068	0.7039	0.42738	0.45726	0.40774
26	63.9	0.1258	0.0124	5.555E-06	6.988E-07	1.106E-06	0.0448	0.0534	0.0603	0.34045	0.35802	0.51782
27	66.2	0.1258	0.0141	5.555E-06	6.988E-07	1.169E-06	0.0623	0.0743	0.0839	0.26502	0.42314	0.49966
28	64.2	0.1258	0.0162	5.555E-06	6.988E-07	1.115E-06	0.0954	0.1144	0.1297	0.22766	0.50835	0.60889
29	61.4	0.1094	0.02	4.831E-06	5.285E-07	9.028E-07	0.2038	0.2481	0.2836	0.32398	0.27799	0.63139
30	60.9	0.083	0.0243	3.665E-06	3.042E-07	6.759E-07	0.4033	0.5095	0.5944	0.28892	0.37089	0.70462
31	56.5	0.0559	0.0052	2.468E-06	1.380E-07	2.804E-07	0.0130	0.0155	0.0170	1.11642	0.77733	1.19519
32	58	0.0577	0.0079	2.548E-06	1.470E-07	3.083E-07	0.0432	0.0512	0.0560	0.84396	0.64760	1.94025
33	55	0.0557	0.0097	2.460E-06	1.370E-07	2.613E-07	0.0873	0.1048	0.1188	0.62018	1.01868	1.44459
34	58.8	0.065	0.0028	2.870E-06	1.866E-07	3.585E-07	0.0015	0.0018	0.0021	0.57522	0.85678	1.65226
35	56.8	0.0661	0.0022	2.919E-06	1.929E-07	3.359E-07	0.0009	0.0010	0.0011	0.37304	0.85578	1.47471
36	59.1	0.1057	0.0032	4.667E-06	4.933E-07	5.899E-07	0.0016	0.0018	0.0021	0.39953	0.63750	1.27211
37	59	0.1075	0.0115	4.747E-06	5.103E-07	5.976E-07	0.0789	0.0865	0.0967	0.64033	0.58161	1.22816
38	61.8	0.1075	0.0019	4.747E-06	5.103E-07	8.965E-07	0.0002	0.0003	0.0003	0.36580	0.52105	1.13702
39	61.2	0.1075	0.0022	4.747E-06	5.103E-07	8.825E-07	0.0003	0.0004	0.0004	0.60576	0.56484	0.75995
40	60.9	0.1075	0.003	4.747E-06	5.103E-07	8.755E-07	0.0010	0.0010	0.0013	0.37289	0.26894	0.50667
41	61.6	0.1075	0.003	4.747E-06	5.103E-07	8.918E-07	0.0009	0.0011	0.0012	0.36337	0.26969	0.57059
42	60.1	0.0971	0.0057	4.288E-06	4.163E-07	7.739E-07	0.0067	0.0072	0.0084	0.42332	0.41687	0.66588
43	59.3	0.0867	0.0069	3.828E-06	3.319E-07	4.877E-07	0.0175	0.0202	0.0229	0.42978	0.42317	1.63429
44	61.3	0.0969	0.0074	4.279E-06	4.146E-07	7.976E-07	0.0132	0.0152	0.0173	0.32514	0.42750	1.02322
45	60.4	0.1075	0.01	4.747E-06	5.103E-07	8.638E-07	0.0359	0.0405	0.0463	0.31964	0.22095	0.47213
46	58.2	0.0792	0.0098	3.497E-06	2.770E-07	4.266E-07	0.0552	0.0640	0.0750	0.62967	0.78633	0.85194
47	56.3	0.0736	0.0119	3.250E-06	2.392E-07	3.660E-07	0.1151	0.1381	0.1565	0.44742	0.92077	0.64078
48	60.5	0.1075	0.0051	4.747E-06	5.103E-07	8.661E-07	0.0044	0.0051	0.0057	0.55193	0.88112	1.22752
49	58.4	0.0563	0.0169	2.486E-06	1.400E-07	3.057E-07	0.3632	0.4264	0.5053	0.49740	0.29728	0.99012
50	62.8	0.11	0.0115	4.857E-06	5.343E-07	9.412E-07	0.0533	0.0598	0.0679	0.33647	0.87375	0.94263
51	63.8	0.11	0.0155	4.857E-06	5.343E-07	9.651E-07	0.1273	0.1428	0.1621	0.27585	0.26783	0.63018
52	64.1	0.11	0.0184	4.857E-06	5.343E-07	9.723E-07	0.1986	0.2243	0.2563	0.34259	0.45031	0.49140
53	63.2	0.11	0.01	4.857E-06	5.343E-07	9.508E-07	0.0347	0.0368	0.0421	0.27397	1.25317	0.45316

54	61.6	0.0838	0.0209	3.700E-06	3.101E-07	6.952E-07	0.3414	0.3940	0.4596	0.31055	0.41748	0.91241
55	60.4	0.0657	0.0234	2.901E-06	1.906E-07	5.279E-07	0.6068	0.7281	0.8495	0.44918	0.52070	0.88490
56	63.9	0.1258	0.0124	5.555E-06	6.988E-07	1.106E-06	0.0569	0.0620	0.0707	0.38392	0.52271	0.87831
57	66.2	0.1258	0.0141	5.555E-06	6.988E-07	1.169E-06	0.0791	0.0863	0.0983	0.30008	0.43916	0.37951
58	64.2	0.1258	0.0162	5.555E-06	6.988E-07	1.115E-06	0.1182	0.1335	0.1526	0.27116	0.45056	0.34279
59	61.4	0.1094	0.02	4.831E-06	5.285E-07	9.028E-07	0.2570	0.2924	0.3367	0.49152	0.33661	0.40038
60	60.9	0.083	0.0243	3.665E-06	3.042E-07	6.759E-07	0.5307	0.6156	0.6581	0.32943	1.08903	0.86220



Lampiran 7 Data penghitungan ketinggian maksimum titik balik arah plume (*centerline*) dari *port* (z_t).

Perc. ke	Discharge Temperature	Kec. discharge Uj (m/s)	Kec. Arus Ua (m/s)	Debit Q (m ³ /s)	Momentum M (m ⁴ /s ²)	Buoyancy B (m ⁴ /s ³)	$z1/l_b$ $\theta = 30^\circ$	$z2/l_b$ $\theta = 45^\circ$	$z3/l_b$ $\theta = 60^\circ$	$(\sin \theta)^{3/4} l_M$ $\theta = 30^\circ$	$(\sin \theta)^{3/4} l_M$ $\theta = 45^\circ$	$(\sin \theta)^{3/4} l_M$ $\theta = 60^\circ$
1	56.5	0.0559	0.0052	2.468E-06	1.380E-07	2.804E-07	0.0130	0.0155	0.0170	0.00223	0.00631	0.01160
2	58	0.0577	0.0079	2.548E-06	1.470E-07	3.083E-07	0.0432	0.0512	0.0560	0.00152	0.00429	0.00788
3	55	0.0557	0.0097	2.460E-06	1.370E-07	2.613E-07	0.0873	0.1048	0.1188	0.00119	0.00337	0.00620
4	58.8	0.065	0.0028	2.870E-06	1.866E-07	3.585E-07	0.0015	0.0018	0.0021	0.00482	0.01363	0.02505
5	56.8	0.0661	0.0022	2.919E-06	1.929E-07	3.359E-07	0.0009	0.0010	0.0011	0.00624	0.01765	0.03242
6	59.1	0.1057	0.0032	4.667E-06	4.933E-07	5.899E-07	0.0016	0.0018	0.0021	0.00686	0.01940	0.03564
7	59	0.1075	0.0115	4.747E-06	5.103E-07	5.976E-07	0.0789	0.0865	0.0967	0.00194	0.00549	0.01009
8	61.8	0.1075	0.0019	4.747E-06	5.103E-07	8.965E-07	0.0002	0.0003	0.0003	0.01175	0.03323	0.06105
9	61.2	0.1075	0.0022	4.747E-06	5.103E-07	8.825E-07	0.0003	0.0004	0.0004	0.01015	0.02870	0.05272
10	60.9	0.1075	0.003	4.747E-06	5.103E-07	8.755E-07	0.0010	0.0010	0.0013	0.00744	0.02105	0.03866
11	61.6	0.1075	0.003	4.747E-06	5.103E-07	8.918E-07	0.0009	0.0011	0.0012	0.00744	0.02105	0.03866
12	60.1	0.0971	0.0057	4.288E-06	4.163E-07	7.739E-07	0.0067	0.0072	0.0084	0.00354	0.01001	0.01838
13	59.3	0.0867	0.0069	3.828E-06	3.319E-07	4.877E-07	0.0175	0.0202	0.0229	0.00261	0.00738	0.01356
14	61.3	0.0969	0.0074	4.279E-06	4.146E-07	7.976E-07	0.0132	0.0152	0.0173	0.00272	0.00769	0.01413
15	60.4	0.1075	0.01	4.747E-06	5.103E-07	8.638E-07	0.0359	0.0405	0.0463	0.00223	0.00631	0.01160
16	58.2	0.0792	0.0098	3.497E-06	2.770E-07	4.266E-07	0.0552	0.0640	0.0750	0.00168	0.00475	0.00872
17	56.3	0.0736	0.0119	3.250E-06	2.392E-07	3.660E-07	0.1151	0.1381	0.1565	0.00128	0.00363	0.00667
18	60.5	0.1075	0.0051	4.747E-06	5.103E-07	8.661E-07	0.0044	0.0051	0.0057	0.00438	0.01238	0.02274
19	58.4	0.0563	0.0169	2.486E-06	1.400E-07	3.057E-07	0.3632	0.4264	0.5053	0.00069	0.00196	0.00359
20	62.8	0.11	0.0115	4.857E-06	5.343E-07	9.412E-07	0.0533	0.0598	0.0679	0.00199	0.00562	0.01032
21	63.8	0.11	0.0155	4.857E-06	5.343E-07	9.651E-07	0.1273	0.1428	0.1621	0.00147	0.00417	0.00766
22	64.1	0.11	0.0184	4.857E-06	5.343E-07	9.723E-07	0.1986	0.2243	0.2563	0.00124	0.00351	0.00645
23	63.2	0.11	0.01	4.857E-06	5.343E-07	9.508E-07	0.0347	0.0368	0.0421	0.00228	0.00646	0.01187
24	61.6	0.0838	0.0209	3.700E-06	3.101E-07	6.952E-07	0.3414	0.3940	0.4596	0.00083	0.00235	0.00433

25	60.4	0.0657	0.0234	2.901E-06	1.906E-07	5.279E-07	0.6068	0.7281	0.8495	0.00058	0.00165	0.00303
26	63.9	0.1258	0.0124	5.555E-06	6.988E-07	1.106E-06	0.0569	0.0620	0.0707	0.00211	0.00596	0.01095
27	66.2	0.1258	0.0141	5.555E-06	6.988E-07	1.169E-06	0.0791	0.0863	0.0983	0.00185	0.00524	0.00963
28	64.2	0.1258	0.0162	5.555E-06	6.988E-07	1.115E-06	0.1182	0.1335	0.1526	0.00161	0.00456	0.00838
29	61.4	0.1094	0.02	4.831E-06	5.285E-07	9.028E-07	0.2570	0.2924	0.3367	0.00114	0.00321	0.00590
30	60.9	0.083	0.0243	3.665E-06	3.042E-07	6.759E-07	0.5307	0.6156	0.6581	0.00071	0.00201	0.00369
31	56.5	0.0559	0.0052	2.468E-06	1.380E-07	2.804E-07	0.0100	0.0125	0.0140	0.00223	0.00631	0.01160
32	58	0.0577	0.0079	2.548E-06	1.470E-07	3.083E-07	0.0336	0.0416	0.0464	0.00152	0.00429	0.00788
33	55	0.0557	0.0097	2.460E-06	1.370E-07	2.613E-07	0.0629	0.0838	0.0978	0.00119	0.00337	0.00620
34	58.8	0.065	0.0028	2.870E-06	1.866E-07	3.585E-07	0.0012	0.0015	0.0017	0.00482	0.01363	0.02505
35	56.8	0.0661	0.0022	2.919E-06	1.929E-07	3.359E-07	0.0007	0.0008	0.0010	0.00624	0.01765	0.03242
36	59.1	0.1057	0.0032	4.667E-06	4.933E-07	5.899E-07	0.0013	0.0015	0.0017	0.00686	0.01940	0.03564
37	59	0.1075	0.0115	4.747E-06	5.103E-07	5.976E-07	0.0611	0.0738	0.0840	0.00194	0.00549	0.01009
38	61.8	0.1075	0.0019	4.747E-06	5.103E-07	8.965E-07	0.0002	0.0002	0.0002	0.01175	0.03323	0.06105
39	61.2	0.1075	0.0022	4.747E-06	5.103E-07	8.825E-07	0.0003	0.0003	0.0004	0.01015	0.02870	0.05272
40	60.9	0.1075	0.003	4.747E-06	5.103E-07	8.755E-07	0.0007	0.0009	0.0011	0.00744	0.02105	0.03866
41	61.6	0.1075	0.003	4.747E-06	5.103E-07	8.918E-07	0.0007	0.0009	0.0011	0.00744	0.02105	0.03866
42	60.1	0.0971	0.0057	4.288E-06	4.163E-07	7.739E-07	0.0053	0.0060	0.0069	0.00354	0.01001	0.01838
43	59.3	0.0867	0.0069	3.828E-06	3.319E-07	4.877E-07	0.0135	0.0168	0.0195	0.00261	0.00738	0.01356
44	61.3	0.0969	0.0074	4.279E-06	4.146E-07	7.976E-07	0.0107	0.0127	0.0142	0.00272	0.00769	0.01413
45	60.4	0.1075	0.01	4.747E-06	5.103E-07	8.638E-07	0.0289	0.0347	0.0382	0.00223	0.00631	0.01160
46	58.2	0.0792	0.0098	3.497E-06	2.770E-07	4.266E-07	0.0397	0.0530	0.0618	0.00168	0.00475	0.00872
47	56.3	0.0736	0.0119	3.250E-06	2.392E-07	3.660E-07	0.0829	0.1151	0.1289	0.00128	0.00363	0.00667
48	60.5	0.1075	0.0051	4.747E-06	5.103E-07	8.661E-07	0.0035	0.0043	0.0049	0.00438	0.01238	0.02274
49	58.4	0.0563	0.0169	2.486E-06	1.400E-07	3.057E-07	0.2684	0.3474	0.4106	0.00069	0.00196	0.00359
50	62.8	0.11	0.0115	4.857E-06	5.343E-07	9.412E-07	0.0420	0.0517	0.0582	0.00199	0.00562	0.01032
51	63.8	0.11	0.0155	4.857E-06	5.343E-07	9.651E-07	0.1003	0.1235	0.1389	0.00147	0.00417	0.00766
52	64.1	0.11	0.0184	4.857E-06	5.343E-07	9.723E-07	0.1602	0.1922	0.2178	0.00124	0.00351	0.00645
53	63.2	0.11	0.01	4.857E-06	5.343E-07	9.508E-07	0.0273	0.0316	0.0358	0.00228	0.00646	0.01187

54	61.6	0.0838	0.0209	3.700E-06	3.101E-07	6.952E-07	0.2626	0.3283	0.3808	0.00083	0.00235	0.00433
55	60.4	0.0657	0.0234	2.901E-06	1.906E-07	5.279E-07	0.4611	0.6068	0.7039	0.00058	0.00165	0.00303
56	63.9	0.1258	0.0124	5.555E-06	6.988E-07	1.106E-06	0.0448	0.0534	0.0603	0.00211	0.00596	0.01095
57	66.2	0.1258	0.0141	5.555E-06	6.988E-07	1.169E-06	0.0623	0.0743	0.0839	0.00185	0.00524	0.00963
58	64.2	0.1258	0.0162	5.555E-06	6.988E-07	1.115E-06	0.0954	0.1144	0.1297	0.00161	0.00456	0.00838
59	61.4	0.1094	0.02	4.831E-06	5.285E-07	9.028E-07	0.2038	0.2481	0.2836	0.00114	0.00321	0.00590
60	60.9	0.083	0.0243	3.665E-06	3.042E-07	6.759E-07	0.4033	0.5095	0.5944	0.00071	0.00201	0.00369

Lampiran 8 Data penghitungan volume fluks.

Perc. ke	Discharge Temperature	Kec. discharge Uj (m/s)	Kec. Arus Ua (m/s)	Debit Q (m ³ /s)	Momentum M (m ⁴ /s ²)	Buoyancy B (m ⁴ /s ³)	μ $\theta = 30^\circ$	μ $\theta = 45^\circ$	μ $\theta = 60^\circ$	$B^{1/3} z^{5/3}$ $\theta = 30^\circ$	$B^{1/3} z^{5/3}$ $\theta = 45^\circ$	$B^{1/3} z^{5/3}$ $\theta = 60^\circ$
1	56.5	0.0559	0.0052	2.468E-06	1.380E-07	2.804E-07	1.870E-06	2.337E-06	2.617E-06	9.645E-06	1.399E-05	1.690E-05
2	58	0.0577	0.0079	2.548E-06	1.470E-07	3.083E-07	2.026E-06	2.509E-06	2.798E-06	1.080E-05	1.541E-05	1.849E-05
3	55	0.0557	0.0097	2.460E-06	1.370E-07	2.613E-07	1.677E-06	2.235E-06	2.608E-06	7.904E-06	1.277E-05	1.651E-05
4	58.8	0.065	0.0028	2.870E-06	1.866E-07	3.585E-07	2.065E-06	2.609E-06	3.043E-06	9.611E-06	1.419E-05	1.834E-05
5	56.8	0.0661	0.0022	2.919E-06	1.929E-07	3.359E-07	2.321E-06	2.874E-06	3.316E-06	1.111E-05	1.586E-05	2.013E-05
6	59.1	0.1057	0.0032	4.667E-06	4.933E-07	5.899E-07	4.065E-06	4.772E-06	5.479E-06	1.560E-05	2.038E-05	2.566E-05
7	59	0.1075	0.0115	4.747E-06	5.103E-07	5.976E-07	4.314E-06	5.213E-06	5.932E-06	1.682E-05	2.306E-05	2.860E-05
8	61.8	0.1075	0.0019	4.747E-06	5.103E-07	8.965E-07	4.135E-06	5.033E-06	5.752E-06	1.794E-05	2.489E-05	3.110E-05
9	61.2	0.1075	0.0022	4.747E-06	5.103E-07	8.825E-07	4.135E-06	4.674E-06	5.393E-06	1.784E-05	2.189E-05	2.778E-05
10	60.9	0.1075	0.003	4.747E-06	5.103E-07	8.755E-07	4.314E-06	5.393E-06	6.292E-06	1.910E-05	2.771E-05	3.583E-05
11	61.6	0.1075	0.003	4.747E-06	5.103E-07	8.918E-07	4.314E-06	5.393E-06	6.292E-06	1.922E-05	2.788E-05	3.605E-05
12	60.1	0.0971	0.0057	4.288E-06	4.163E-07	7.739E-07	3.572E-06	4.059E-06	4.709E-06	1.586E-05	1.962E-05	2.513E-05
13	59.3	0.0867	0.0069	3.828E-06	3.319E-07	4.877E-07	2.900E-06	3.625E-06	4.204E-06	1.160E-05	1.682E-05	2.155E-05
14	61.3	0.0969	0.0074	4.279E-06	4.146E-07	7.976E-07	3.403E-06	4.051E-06	4.537E-06	1.482E-05	1.982E-05	2.394E-05
15	60.4	0.1075	0.01	4.747E-06	5.103E-07	8.638E-07	4.494E-06	5.393E-06	5.932E-06	2.036E-05	2.758E-05	3.233E-05
16	58.2	0.0792	0.0098	3.497E-06	2.770E-07	4.266E-07	2.384E-06	3.179E-06	3.708E-06	9.306E-06	1.503E-05	1.944E-05
17	56.3	0.0736	0.0119	3.250E-06	2.392E-07	3.660E-07	2.215E-06	3.077E-06	3.446E-06	8.844E-06	1.529E-05	1.847E-05
18	60.5	0.1075	0.0051	4.747E-06	5.103E-07	8.661E-07	4.135E-06	5.033E-06	5.752E-06	1.773E-05	2.461E-05	3.075E-05
19	58.4	0.0563	0.0169	2.486E-06	1.400E-07	3.057E-07	1.600E-06	2.071E-06	2.448E-06	7.571E-06	1.164E-05	1.537E-05
20	62.8	0.11	0.0115	4.857E-06	5.343E-07	9.412E-07	4.783E-06	5.886E-06	6.622E-06	2.236E-05	3.161E-05	3.847E-05
21	63.8	0.11	0.0155	4.857E-06	5.343E-07	9.651E-07	4.783E-06	5.886E-06	6.622E-06	2.255E-05	3.187E-05	3.879E-05
22	64.1	0.11	0.0184	4.857E-06	5.343E-07	9.723E-07	4.599E-06	5.518E-06	6.254E-06	2.118E-05	2.869E-05	3.535E-05
23	63.2	0.11	0.01	4.857E-06	5.343E-07	9.508E-07	4.783E-06	5.518E-06	6.254E-06	2.244E-05	2.848E-05	3.509E-05
24	61.6	0.0838	0.0209	3.700E-06	3.101E-07	6.952E-07	2.803E-06	3.503E-06	4.064E-06	1.305E-05	1.894E-05	2.425E-05
25	60.4	0.0657	0.0234	2.901E-06	1.906E-07	5.279E-07	2.087E-06	2.747E-06	3.186E-06	1.093E-05	1.728E-05	2.212E-05

26	63.9	0.1258	0.0124	5.555E-06	6.988E-07	1.106E-06	5.469E-06	6.521E-06	7.363E-06	2.360E-05	3.164E-05	3.873E-05
27	66.2	0.1258	0.0141	5.555E-06	6.988E-07	1.169E-06	5.469E-06	6.521E-06	7.363E-06	2.404E-05	3.223E-05	3.945E-05
28	64.2	0.1258	0.0162	5.555E-06	6.988E-07	1.115E-06	5.259E-06	6.311E-06	7.152E-06	2.216E-05	3.003E-05	3.700E-05
29	61.4	0.1094	0.02	4.831E-06	5.285E-07	9.028E-07	4.208E-06	5.122E-06	5.854E-06	1.798E-05	2.495E-05	3.117E-05
30	60.9	0.083	0.0243	3.665E-06	3.042E-07	6.759E-07	2.637E-06	3.331E-06	3.886E-06	1.187E-05	1.752E-05	2.266E-05
31	56.5	0.0559	0.0052	2.468E-06	1.380E-07	2.804E-07	2.430E-06	2.898E-06	3.178E-06	1.494E-05	2.002E-05	2.336E-05
32	58	0.0577	0.0079	2.548E-06	1.470E-07	3.083E-07	2.605E-06	3.088E-06	3.377E-06	1.642E-05	2.179E-05	2.530E-05
33	55	0.0557	0.0097	2.460E-06	1.370E-07	2.613E-07	2.329E-06	2.794E-06	3.167E-06	1.366E-05	1.852E-05	2.281E-05
34	58.8	0.065	0.0028	2.870E-06	1.866E-07	3.585E-07	2.717E-06	3.261E-06	3.696E-06	1.519E-05	2.058E-05	2.535E-05
35	56.8	0.0661	0.0022	2.919E-06	1.929E-07	3.359E-07	2.984E-06	3.427E-06	3.979E-06	1.689E-05	2.127E-05	2.728E-05
36	59.1	0.1057	0.0032	4.667E-06	4.933E-07	5.899E-07	5.126E-06	5.656E-06	6.540E-06	2.296E-05	2.705E-05	3.446E-05
37	59	0.1075	0.0115	4.747E-06	5.103E-07	5.976E-07	5.573E-06	6.112E-06	6.831E-06	2.577E-05	3.006E-05	3.618E-05
38	61.8	0.1075	0.0019	4.747E-06	5.103E-07	8.965E-07	5.393E-06	5.932E-06	6.831E-06	2.793E-05	3.274E-05	4.141E-05
39	61.2	0.1075	0.0022	4.747E-06	5.103E-07	8.825E-07	5.213E-06	5.573E-06	6.471E-06	2.626E-05	2.934E-05	3.765E-05
40	60.9	0.1075	0.003	4.747E-06	5.103E-07	8.755E-07	5.573E-06	6.112E-06	7.370E-06	2.927E-05	3.414E-05	4.664E-05
41	61.6	0.1075	0.003	4.747E-06	5.103E-07	8.918E-07	5.573E-06	6.292E-06	7.191E-06	2.945E-05	3.605E-05	4.503E-05
42	60.1	0.0971	0.0057	4.288E-06	4.163E-07	7.739E-07	4.546E-06	4.871E-06	5.683E-06	2.370E-05	2.659E-05	3.438E-05
43	59.3	0.0867	0.0069	3.828E-06	3.319E-07	4.877E-07	3.770E-06	4.349E-06	4.929E-06	1.796E-05	2.280E-05	2.809E-05
44	61.3	0.0969	0.0074	4.279E-06	4.146E-07	7.976E-07	4.213E-06	4.861E-06	5.509E-06	2.116E-05	2.686E-05	3.309E-05
45	60.4	0.1075	0.01	4.747E-06	5.103E-07	8.638E-07	5.573E-06	6.292E-06	7.191E-06	2.913E-05	3.567E-05	4.456E-05
46	58.2	0.0792	0.0098	3.497E-06	2.770E-07	4.266E-07	3.311E-06	3.841E-06	4.503E-06	1.609E-05	2.061E-05	2.686E-05
47	56.3	0.0736	0.0119	3.250E-06	2.392E-07	3.660E-07	3.077E-06	3.692E-06	4.185E-06	1.529E-05	2.072E-05	2.553E-05
48	60.5	0.1075	0.0051	4.747E-06	5.103E-07	8.661E-07	5.213E-06	5.932E-06	6.651E-06	2.609E-05	3.236E-05	3.916E-05
49	58.4	0.0563	0.0169	2.486E-06	1.400E-07	3.057E-07	2.165E-06	2.542E-06	3.013E-06	1.253E-05	1.637E-05	2.173E-05
50	62.8	0.11	0.0115	4.857E-06	5.343E-07	9.412E-07	6.070E-06	6.806E-06	7.726E-06	3.327E-05	4.026E-05	4.973E-05
51	63.8	0.11	0.0155	4.857E-06	5.343E-07	9.651E-07	6.070E-06	6.806E-06	7.726E-06	3.355E-05	4.060E-05	5.015E-05
52	64.1	0.11	0.0184	4.857E-06	5.343E-07	9.723E-07	5.702E-06	6.438E-06	7.358E-06	3.031E-05	3.710E-05	4.635E-05
53	63.2	0.11	0.01	4.857E-06	5.343E-07	9.508E-07	6.070E-06	6.438E-06	7.358E-06	3.338E-05	3.682E-05	4.600E-05
54	61.6	0.0838	0.0209	3.700E-06	3.101E-07	6.952E-07	3.643E-06	4.204E-06	4.905E-06	2.021E-05	2.566E-05	3.318E-05

55	60.4	0.0657	0.0234	2.901E-06	1.906E-07	5.279E-07	2.747E-06	3.296E-06	3.845E-06	1.728E-05	2.341E-05	3.027E-05
56	63.9	0.1258	0.0124	5.555E-06	6.988E-07	1.106E-06	6.942E-06	7.573E-06	8.625E-06	3.512E-05	4.060E-05	5.042E-05
57	66.2	0.1258	0.0141	5.555E-06	6.988E-07	1.169E-06	6.942E-06	7.573E-06	8.625E-06	3.577E-05	4.135E-05	5.136E-05
58	64.2	0.1258	0.0162	5.555E-06	6.988E-07	1.115E-06	6.521E-06	7.363E-06	8.415E-06	3.172E-05	3.883E-05	4.851E-05
59	61.4	0.1094	0.02	4.831E-06	5.285E-07	9.028E-07	5.305E-06	6.037E-06	6.952E-06	2.646E-05	3.281E-05	4.151E-05
60	60.9	0.083	0.0243	3.665E-06	3.042E-07	6.759E-07	3.470E-06	4.025E-06	4.303E-06	1.876E-05	2.402E-05	2.685E-05

Lampiran 9 Hasil perhitungan uji homogenitas dari data kalibrasi menggunakan SPSS 14 *software*.

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Lee	6,8786	30	4,33365	,79121
	Percobaan	6,5167	30	3,79794	,69341

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Lee & Percobaan	30	,975	,000

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Lee - Percobaan	,36190	1,05924	,19339	-,03363	,75743	1,871	29	,071

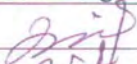
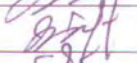
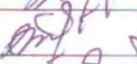
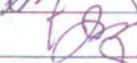
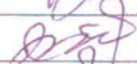




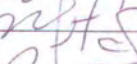
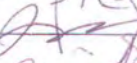
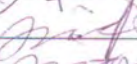
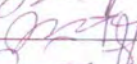

Lampiran 10 Tabel distribusi t (Supranto, 2001)

d.f.	α								
	.25	.10	.05	.025	.01	.005	.0025	.001	.0005
1	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	127.321	318.309	636.619
2	.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	14.089	22.327	31.598
3	.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.214	12.924
4	.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.390	4.318
13	.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.223	3.646	3.965
18	.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.610	3.922
19	.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.104	3.485	3.768
24	.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.090	3.467	3.745
25	.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27	.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
60	.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	2.915	3.232	3.460
∞	.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	2.807	3.090	3.291

Lampiran 11 Lembar asistensi tugas akhir

NAMA : EKO SANTOSO	NRP : 4301.100.046
JUDUL TUGAS AKHIR : "PENGARUH PERUBAHAN SUDUT PORT TERHADAP INITIAL DILUTION BUOYANT JET NEGATIVE PADA ARUS CROSS-FLOW"	

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

No.	Tanggal	Penjelasan Pembimbing	Tanda Tangan
1	15 Maret 2006	Prosedur awal percobaan	
2	24 Maret 2006	Penyusunan prosedur percobaan	
3	29 Maret 2006	Memulai percobaan di laboratorium	
4	2 April 2006	Perencanaan percobaan di laboratorium	
5	5 April 2006	Kalibrasi percobaan	
6	12 April 2006	Kalibrasi	
7	19 April 2006	Analisa Percobaan	
8	1 Mei 2006	Pemodulan Initial Orfution	
9	3 Mei 2006	Persiapan ujian 72	
10	6 Juni 2006	Analisa & Pembahasan Dimensi	
11	14 Juni 2006	Analisa & Pembahasan Dimensi	
12	19 Juni 2006	Analisa & Pembahasan volume & elevasi	
13	23 Juni 2006	Analisa & Pembahasan keawetan	
14	5 Juli 2006	Laporan akhir TA.	

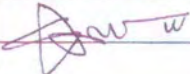


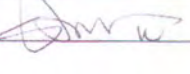
NAMA : EKO SANTOSO

NRP : 4301.100.046

JUDUL TUGAS AKHIR :

“PENGARUH PERUBAHAN SUDUT PORT TERHADAP INITIAL DILUTION
BUOYANT JET NEGATIVE PADA ARUS CROSS-FLOW”

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

No.	Tanggal	Penjelasan Pembimbing	Tanda Tangan
1.	24 April 06	Perbaiki grafik lokasi	
10		perub. dgn Lee Cheng..	
2	3 Mei 06	Perbaiki lagi grafik	
		Flup vs Lee Cheng	
3	23 Mei 06	Penyisipan u/ Pz Perbaiki	
		Grafik	
4	21 Juni 06	lagutan angka Regres.	
		Pilih yg terbaik lokasi	
5	23 Juni 06		
6	26 Juni 06		

Lampiran 12 SK Tugas Akhir



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS, Sukolilo Surabaya 60111 Telp./Fax. 031 - 5928105, 5994251 - 5 Pes. 1104 - 1105

SK. TUGAS AKHIR (LL 1327)
NO. : 190/ KO3.4.4/PP/2005

Mata Kulia	:	Tugas Akhir
Kode Mata Kuliah	:	LL 1327
Nama	:	Eko Santoso
Nomor Pokok	:	4301100046
Tanggal diberikan	:	12 September 2005
Tanggal Selesai	:	12 September 2006
Dosen Pembimbing	:	Dr. Ir. Mukhtasor, MEng Dr. Ir. Haryo DA, MSc

THEMA / URAIAN / DATA-DATA YANG DIBERIKAN / JUDUL TUGAS AKHIR :

Pengaruh perubahan sudut Port terhadap Initial Dillution Buoyant Jet Negative pada
Arus Cross-Flow

DIBUAT RANGKAP 4 (EMPAT) :

1. Mahasiswa Ybs.
2. Dekan FTK-ITS
3. Dosen Pembimbing
4. Arsip Jurusan



Surabaya, 12 September 2005
Ketua Jurusan,

Ir. IMAM ROCHANI, MSc
NIP. 131 417 209

